

به نام خدا



دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قزوین

دانشکده بهداشت

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد

رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان:

بررسی میزان حذف فلزات سنگین (سرب، کادمیم و کبالت) با استفاده از کیتوزان در محیط های آبی

استاد راهنما:

دکتر حمزه علی جمالی

استاد مشاور:

دکتر محمدمهدی امام جمعه

ارائه دهنده:

آسیه آقائی

مقدمه:

فلزات سنگین شایع ترین آلوده کننده های موجود در پساب های صنعتی هستند (۱).
دارای خطرات زیست محیطی بوده و برای سلامت انسان زیان آور هستند (۲).

کیتوزان

کیتین فراوانترین پلیمر طبیعی بعد از سلولز می باشد که به طور عمده در پوسته سخت پوستان مانند: میگو، خرچنگ دریایی، کوتیکول حشرات مثل سوسک و دیواره سلولی قارچ ها یافت می شود. (۳، ۴).

کیتوزان یک نوع پلی آمینوساکارید طبیعی است که از دی استیله شدن کیتین بدست می آید و دارای مزایای فراوانی از جمله: سازگاری زیستی بالا، تجزیه پذیر و غیر سمی بودن، واکنش پذیری بالا، میل زیاد به آلاینده، ظرفیت جذب بالا و همچنین خواص آنتی باکتریال و ضد حساسیت بوده و همچنین به دلیل نیتروژن بالا (۶/۸۹٪) در مقایسه با جایگزین های سنتتیک (مصنوعی) سلولز (۱،۲۵٪) دارای امتیاز تجاری هستند (۵، ۶).

هدف اصلی طرح

تعیین میزان حذف فلزات سنگین (سرب، کادمیم، کبالت) با استفاده از کیتوزان در محیط های آبی

اهداف فرعی طرح

-تعیین اثر pH در حذف سرب، کادمیم و کبالت با استفاده از کیتوزان در محیط های آبی
-تعیین اثر زمان تماس در حذف سرب، کادمیم و کبالت با استفاده از کیتوزان در محیط های آبی

-تعیین اثر غلظت اولیه آلاینده فلزی با استفاده از کیتوزان در محیط های آبی
-تعیین میزان غلظت اولیه کیتوزان در حذف سرب، کادمیم و کبالت در محیط های آبی
-تعیین راندمان حذف فلزات با کیتوزان در حذف سرب، کادمیم و کبالت در محیط آبی

سوالات پژوهش

pH - محیط آبی واکنش چه تأثیری در حذف سرب، کادمیم و کبالت توسط کیتوزان دارد؟

- تأثیر زمان تماس در حذف سرب، کادمیم و کبالت با استفاده از کیتوزان در محیط های آبی چقدر است؟

- آیا غلظت اولیه یون های سرب، کادمیم و کبالت در حذف آنها با استفاده از کیتوزان مؤثر است؟

- تأثیر غلظت اولیه کیتوزان در حذف سرب، کادمیم و کبالت چقدر است؟

- جذب یون های سرب، کادمیم و کبالت از کدام ایزوترم تبعیت می کند؟

روش پژوهش

در این مطالعه کیتوزان خام با وزن مولکولی متوسط و درجه استیل زدایی بیشتر از 85٪ از شرکت سیگما آلدریچ (به نمایندگی شرکت مینا تجهیز آریا) خریداری گردید و با استفاده از اسید استیک ۵٪ حجمی و سود ۵/۰ مولار اصلاح و کیتوزان دانه ای تهیه شد.

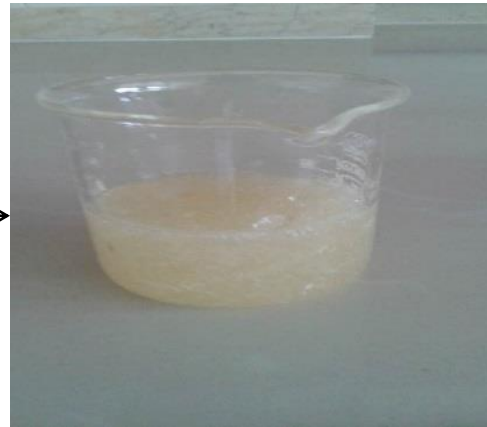
متغیرهای مورد مطالعه در آزمایش های مقدماتی

متغیرهای مورد مطالعه شامل pH ، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت اولیه یون فلزات سنگین بود. آزمایش های مقدماتی در دامنه pH ۳ تا ۹ (۸,۹)، در فواصل زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه (۱۰,۷)، غلظت جاذب ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ میلی گرم در لیتر (۱۴,۹) و غلظت اولیه یون فلزی ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی گرم در لیتر (۱۳,۱۲) انجام شد. اختلاط نمونه با استفاده از همزن مغناطیسی انجام شد. جهت صاف کردن محلول ها و جداسازی ذرات جاذب از محلول آبی، از فیلتر ۴۵/۰ میکرون استفاده گردید. در نهایت سنجش غلظت فلزات سنگین در نمونه های استاندارد و مجهول با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد.

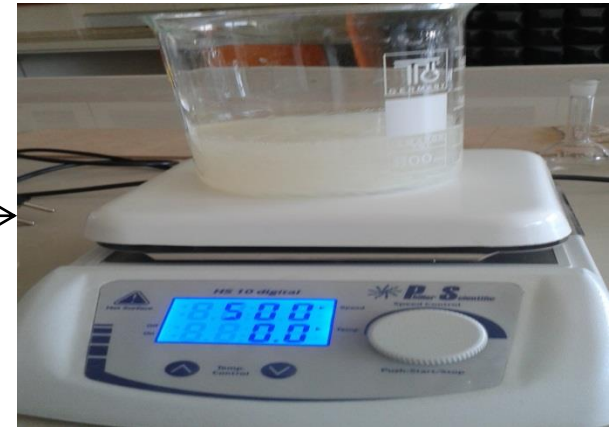
تهیه کیتوزان دانه ای



کیتوزان خام

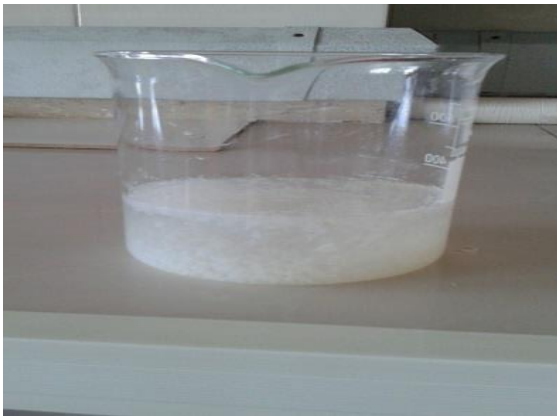


تشکیل ژله کیتوزان با
استفاده از اسید استیک ۵٪



اختلاط ژل کیتوزان و هیدروکسید
سدیم ۰/۵ مولار با همزن مغناطیسی

حجمی



خشک کردن دانه های کیتوزان روی شیشه
ساعتی در دمای محیط

تشکیل دانه های کیتوزان با اضافه کردن
هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار به ژل کیتوزان

ابتدا محلول استوک 1000mg/l یون کادمیم، سرب و کبالت به ترتیب از طریق حل کردن نمک نیترات کادمیم، نیترات سرب و کلرید کبالت در آب دو بار تقطیر تهیه شد. سپس از این محلول برای تهیه غلظت‌های موردنیاز جهت انجام آزمایش و ساختن استانداردها استفاده شد. برای تنظیم pH محلول از هیدروکسید سدیم و اسید نیتریک ۱ نرمال استفاده شد. اختلاط نمونه‌ها با استفاده از همزن مغناطیسی انجام شد. قبل از تزریق نمونه‌ها به دستگاه جذب اتمی، مرحله آماده‌سازی (رقیق سازی با آب دو بار تقطیر شده) نمونه‌ها انجام شد. به منظور استفاده از دستگاه جذب اتمی، لامپ مخصوص هر فلز در جای خود قرار گرفته و طول موج دستگاه بر مبنای فلز موردنظر تنظیم شد. برای کالیبره کردن دستگاه، از نمونه شاهد (آب دو بار تقطیر شده) و محلول استاندارد ساخته شده استفاده شد.



ظروف آزمایشگاهی و نمونه گیری



دستگاه جذب اتمی مدل wfx_130

روش سطح-پاسخ

روش سطح پاسخ (RSM) از تکنیک‌های آماری و ریاضی مشتق شده است که می‌توان از آن برای مطالعه اثر متغیرهای گوناگون در سطوح مختلف و اثرات متقابل آن‌ها استفاده نمود. روش سطح پاسخ دارای چهار مرحله اصلی: شامل طراحی آزمایش‌ها، برازش مدل، راستی آزمایی مدل و تعیین شرایط بهینه است (۱۴). براساس نتایج آزمایش‌های مقدماتی و با بکارگیری طرح مرکب مرکزی، آزمایش‌ها طراحی گردید. این طراحی به کمک نرم افزار Design Expert7 انجام شد. در این طراحی متغیرها در پنج سطر کدبندی شده و در مجموع شامل ۳۰ آزمایش بود. برای تعیین مقادیر بهینه متغیرهای مستقل فرایند، درصد حذف سرب به عنوان پاسخ مورد تحلیل قرار گرفت. معادله مدل درجه دوم برای پیش بینی شرایط بهینه استفاده شد.

نتایج و بحث:

جدول ۱: متغیرهای مستقل مورد مطالعه برای حذف سرب و سطوح آن ها در طراحی آزمایش ها

متغیرهای مستقل	واحد	علامت اختصاری	کد سطوح	۰	۱	۲
pH	-	A	۵	۶	۷	۸
زمان تماس	دقیقه	B	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
غلظت جاذب	میلی گرم در لیتر	C	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰
غلظت اولیه آلاینده	میلی گرم در لیتر	D	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰

جدول ۲: متغیرهای مستقل مورد مطالعه برای حذف کادمیم و سطوح آن‌ها در طراحی آزمایش‌ها

متغیرهای مستقل	واحد	علامت اختصاری	کد سطوح				
			۲	۱	۰	-۱	-۲
pH	-	A	۱۰	۹	۸	۷	۶
زمان تماس	دقیقه	B	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
غلظت جاذب	میلی گرم در لیتر	C	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰
غلظت اولیه آلاینده	میلی گرم در لیتر	D	۱۲۵	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵

جدول ۳: متغیرهای مستقل مورد مطالعه برای حذف کبالت و سطوح آن‌ها در طراحی آزمایش‌ها

متغیرهای مستقل	واحد	علامت اختصاری	کد سطوح				
			۲	۱	۰	-۱	-۲
pH	-	A	۱۰	۹	۸	۷	۶
زمان تماس	دقیقه	B	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
غلظت جاذب	میلی گرم در لیتر	C	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰
غلظت اولیه آلاینده	میلی گرم در لیتر	D	۱۲۵	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵

جدول ۴: طراحی مرکب مرکزی برای چهار فاکتور مستقل مورد مطالعه در حذف سرب و نتایج آن

شماره آزمایش	ردیف	pH	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (میلی گرم در لیتر)	غلظت اولیه یون فلزی (میلی گرم در لیتر)	راندمان حذف سرب (%)
						پیش بینی شده واقعی
۲۰	۱	۷	۷۵	۳۰۰	۷۵	۷۳, ۷۰,۱۳
۱۱	۲	۶	۶۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۱, ۵۰
۲۷	۳	۷	۴۵	۳۰۰	۷۵	۷۸,۵, ۷۷,۴۲
۸	۴	۸	۶۰	۴۰۰	۵۰	۸۱, ۸۵,۱۳
۱	۵	۶	۳۰	۲۰۰	۵۰	۴۹, ۴۷,۵۴
۱۸	۶	۹	۴۵	۳۰۰	۷۵	۸۲, ۸۰,۹۶
۱۳	۷	۶	۳۰	۴۰۰	۱۰۰	۷۴, ۷۲,۲۱
۱۵	۸	۶	۶۰	۴۰۰	۱۰۰	۵۸, ۶۰,۸۳
۲۸	۹	۷	۴۵	۳۰۰	۷۵	۷۵, ۷۷,۴۲
۵	۱۰	۶	۳۰	۴۰۰	۵۰	۵۹, ۵۹,۸۸
۹	۱۱	۶	۳۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۷, ۵۳,۱۳
۲۱	۱۲	۷	۴۵	۱۰۰	۷۵	۵۵, ۵۷,۷۹
۲۸	۱۳	۷	۴۵	۳۰۰	۷۵	۷۸, ۷۷,۴۲
۳۰	۱۴	۷	۴۵	۳۰۰	۷۵	۷۶, ۷۶,۸۸
۷	۱۵	۶	۶۰	۴۰۰	۵۰	۶۰, ۵۸,۱۷
۱۷	۱۶	۵	۴۵	۳۰۰	۷۵	۴۳, ۴۴,۶۳
۱۹	۱۷	۷	۱۵	۳۰۰	۷۵	۵۴, ۵۸,۶۳
۱۲	۱۸	۸	۶۰	۲۰۰	۱۰۰	۷۶, ۷۷,۴۲
۲۲	۱۹	۷	۴۵	۵۰۰	۷۵	۸۲, ۸۲,۱۳
۲۹	۲۰	۷	۴۵	۳۰۰	۷۵	۸۰, ۷۷,۴۲
۳	۲۱	۶	۶۰	۲۰۰	۵۰	۵۳, ۵۴,۱۷
۱۰	۲۲	۸	۳۰	۲۰۰	۱۰۰	۶۴, ۶۳,۷۵
۲	۲۳	۸	۳۰	۲۰۰	۵۰	۶۰, ۵۸,۲۵
۱۶	۲۴	۸	۶۰	۴۰۰	۱۰۰	۸۹, ۸۷,۷۱
۲۳	۲۵	۷	۴۵	۳۰۰	۲۵	۶۴, ۶۳,۷۵
۲۵	۲۶	۷	۴۵	۳۰۰	۷۵	۷۷, ۷۷,۴۲
۴	۲۷	۸	۶۰	۲۰۰	۵۰	۸۲, ۸۱,۰۴
۱۴	۲۸	۸	۳۰	۴۰۰	۱۰۰	۸۳, ۸۲,۸۳
۶	۲۹	۸	۳۰	۴۰۰	۵۰	۷۳, ۷۰,۵
۲۴	۳۰	۷	۴۵	۳۰۰	۱۲۵	۷۱, ۷۲,۴۶

جدول ۵: طراحی مرکب مرکزی برای چهار متغیر مستقل مورد مطالعه در حذف کادمیم و نتایج آن

شماره آزمایش	ردیف	pH	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (میلی گرم در لیتر)	غلظت اولیه یون فلزی (میلی گرم در لیتر)	راندمان حذف کادمیم (%) بخش واقعی	بخش بکشی شده
۶	۱	۹	۱۵	۴۰۰	۵۰	۹۵	۹۳,۳۸
۱	۲	۷	۱۵	۲۰۰	۵۰	۶۹	۶۹,۵۴
۵	۳	۷	۱۵	۴۰۰	۵۰	۶۶	۶۶,۴۲
۲۰	۴	۸	۳۰	۳۰۰	۷۵	۸۴	۷۹,۷۱
۱۸	۵	۱۰	۲۰	۳۰۰	۷۵	۸۸	۸۴,۲۱
۲۶	۶	۸	۲۰	۳۰۰	۷۵	۷۸	۷۹,۸۳
۲۵	۷	۸	۲۰	۳۰۰	۷۵	۷۶	۷۹,۸۳
۳	۸	۷	۲۵	۲۰۰	۵۰	۷۴	۶۸,۷۵
۳۰	۹	۸	۲۰	۳۰۰	۷۵	۸۳	۷۹,۸۳
۱۴	۱۰	۹	۱۵	۴۰۰	۱۰۰	۸۱	۸۵,۷۵
۲۴	۱۱	۸	۲۰	۳۰۰	۱۲۵	۶۵	۶۶,۳۷
۸	۱۲	۹	۲۵	۴۰۰	۵۰	۹۹	۱۰۵
۱۹	۱۳	۸	۱۰	۳۰۰	۷۵	۶۳	۶۸,۵۱
۱۵	۱۴	۷	۲۵	۴۰۰	۱۰۰	۵۵	۶۱,۲۵
۷	۱۵	۷	۲۵	۴۰۰	۵۰	۷۰	۶۷,۳۷
۱۲	۱۶	۹	۲۵	۲۰۰	۱۰۰	۷۱	۶۸,۱
۲	۱۷	۹	۱۵	۲۰۰	۵۰	۸۸	۸۱,۲۵
۹	۱۸	۷	۱۵	۲۰۰	۱۰۰	۵۲	۴۵,۴۲
۲۷	۱۹	۸	۲۰	۳۰۰	۷۵	۸۵	۷۹,۸۳
۲۸	۲۰	۸	۲۰	۳۰۰	۷۵	۷۹	۷۹,۸۳
۲۲	۲۱	۸	۲۰	۵۰۰	۷۵	۹۴	۸۹,۸۸
۲۱	۲۲	۸	۲۰	۱۰۰	۷۵	۵۶	۶۱,۳۸
۱۱	۲۳	۷	۲۵	۲۰۰	۱۰۰	۴۴	۴۴,۸۷
۲۹	۲۴	۸	۲۰	۳۰۰	۷۵	۷۸	۷۹,۸۳
۱۳	۲۵	۷	۱۵	۴۰۰	۱۰۰	۶۹	۶۲,۰۴
۱۰	۲۶	۹	۱۵	۲۰۰	۱۰۰	۵۴	۵۵,۸۸
۱۷	۲۷	۶	۲۰	۳۰۰	۷۵	۳۱	۳۶,۰۴
۱۶	۲۸	۶	۲۰	۳۰۰	۷۵	۹۹	۹۷,۷۱
۴	۲۹	۹	۲۵	۲۰۰	۵۰	۸۷	۹۳,۲۱
۲۳	۳۰	۸	۲۰	۳۰۰	۲۵	۹۸	۹۷,۸۸

جدول ۶: طراحی مرکب مرکزی برای چهار متغیر مستقل مورد مطالعه در حذف کبات و نتایج آن

شماره آزمایش	ردیف	pH	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (میلی گرم در لیتر)	غلظت اولیه یون فلزی (میلی گرم در لیتر)	راندمان حذف کبات (%)	بخش بکشی شده واقعی
۴	۱	۹	۲۰	۲۰۰	۵۰	۷۶	۸۲,۹
۱۰	۲	۹	۱۰	۲۰۰	۷۵	۸۲	۸۰,۱۵
۲۹	۳	۸	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۷۶	۷۶,۶۷
۱۸	۴	۱۰	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۸۶	۸۵,۹۶
۸	۵	۹	۲۰	۴۰۰	۵۰	۱۰۰	۱۰,۳
۳۰	۶	۸	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۸۳	۷۶,۶۷
۱۵	۷	۷	۲۰	۴۰۰	۷۵	۴۵	۵۲,۳۱
۲	۸	۹	۱۰	۲۰۰	۵۰	۷۲	۶۳
۲۳	۹	۸	۱۵	۳۰۰	۳۷,۵	۹۴,۵	۹۳,۲۹
۲۸	۱۰	۸	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۷۸	۷۶,۶۷
۲۲	۱۱	۸	۱۵	۵۰۰	۶۲,۵	۸۳	۸۲,۲۹
۱۷	۱۲	۶	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۳۲	۳۵,۲۹
۳	۱۳	۷	۲۰	۲۰۰	۵۰	۷۸	۷۴,۵۶
۲۶	۱۴	۸	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۷۵	۷۶,۶۷
۲۷	۱۵	۸	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۷۶	۷۶,۶۷
۵	۱۶	۷	۱۰	۴۰۰	۵۰	۶۵	۶۳,۴
۲۵	۱۷	۸	۱۵	۳۰۰	۶۲,۵	۷۲	۷۶,۶۷
۷	۱۸	۷	۲۰	۴۰۰	۵۰	۸۱	۸۱,۲۳
۱۱	۱۹	۷	۲۰	۲۰۰	۷۵	۶۳	۶۱,۱۵
۹	۲۰	۷	۱۰	۲۰۰	۷۵	۵۶	۵۱,۳۳
۱۳	۲۱	۷	۱۰	۴۰۰	۷۵	۵۸	۴۹,۵
۱	۲۲	۷	۱۰	۲۰۰	۵۰	۴۷	۴۹,۷۳
۱۲	۲۳	۹	۲۰	۲۰۰	۷۵	۸۵	۸۴,۹۸
۲۴	۲۴	۸	۱۵	۳۰۰	۸۷,۵	۷۷	۸۱,۴۶
۱۶	۲۵	۹	۲۰	۴۰۰	۷۵	۹۴	۸۹,۶۵
۲۰	۲۶	۸	۲۵	۳۰۰	۶۲,۵	۸۸	۸۲,۴۶
۱۹	۲۷	۸	۵	۳۰۰	۶۲,۵	۵۱	۵۹,۷۹
۲۱	۲۸	۸	۱۵	۱۰۰	۶۲,۵	۶۰	۶۳,۹۶
۶	۲۹	۹	۱۰	۴۰۰	۵۰	۹۰	۹۰,۲۳
۱۴	۳۰	۹	۱۰	۴۰۰	۷۵	۹۰	۹۱,۸۱

برای تحلیل داده ها و تعیین اثرات متقابل بین متغیرهای مستقل فرایند و پاسخ، تحلیل واریانس انجام شد. ضرایب مدل درجه دوم به عنوان عملکرد متغیرهای مستقل است. داده های تحقیق به وسیله رگرسیون چندگانه آنالیز گردید. با حذف واژه هایی که از نظر آماری در سطح ۹۵٪ معنی دار نبودند معادله درجه دوم اصلاح گردید.

جدول ۷: نتایج آنالیز واریانس حذف یون سرب توسط کیتوزان دانه ای

مقدار P Pro.>F	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	موارد
$<0,0001^S$	۳۷,۶۳	۳۰۸,۸۵	۱۴	۴۳۲۳,۹۲	مدل
$<0,0001^S$	۲۵۶,۹۸	۲۱۰۹,۳۷	۱	۲۱۰۹,۳۷	pH :A
$0,000۳^S$	۲۴,۱۷	۱۹۸,۳۸	۱	۱۹۸,۳۸	B:زمان تماس
$<0,0001^S$	۹۸,۰۸	۸۰۵,۰۴	۱	۸۰۵,۰۴	C :مقدار جاذب
$0,00۳۳^S$	۱۲,۱۹	۱۰۰,۰۴	۱	۱۰۰,۰۴	D: غلظت اولیه یون
$<0,0001^S$	۳۲,۱۷	۲۶۴,۰۶	۱	۲۶۴,۰۶	AB
$0,۷۹۷۱^{NS}$	۰,۰۶۹	۰,۵۶	۱	۰,۵۶	AC
$0,۷۹۷۱^{NS}$	۰,۰۶۹	۰,۵۶	۱	۰,۵۶	AD
$0,۰۱۱۵^S$	۸,۳۹	۶۸,۰۶	۱	۶۸,۰۶	BC
$0,۰۰۳۹^S$	۱۱,۵۸	۹۵,۰۶	۱	۹۵,۰۶	BD
$0,۰۳۲۵^S$	۵,۵۵	۴۵,۵۶	۱	۴۵,۵۶	CD
$<0,0001^S$	۴۱,۱۸	۳۳۸	۱	۳۳۸	A ^۲
$<0,0001^S$	۳۵,۵۲	۲۹۱,۵۷	۱	۲۹۱,۵۷	B ^۲
$0,۰۰۲۳^S$	۱۳,۵۱	۱۱۰,۸۶	۱	۱۱۰,۸۶	C ^۲
$0,۰۰۰۹^S$	۱۷,۰۷	۱۴۰,۱۵	۱	۱۴۰,۱۵	D ^۲
		۸,۲۱	۱۵	۱۲۳,۱۳	باقیمانده
$0,۱۰۰^{NS}$	۳,۳	۱۰,۶۹	۱۰	۱۰۶,۹۲	نقص برازش
		۳,۲۴	۵	۱۶,۲۱	خطای خالص
			۲۹	۴۴۴۷,۰۴	کل

دیگر پارامترهای آماری

میانگین = ۶۸,۵۸	انحراف معیار = ۲,۸۷	ضریب تغییرات = ۴,۱۸	مجموع مربعات باقیمانده خطای پیش بینی شده = ۶۳۹,۱۸	ضریب همبستگی = ۰,۹۷۲	ضریب تعدیل شده = ۰,۹۴۶	دقت کافی = ۲۱,۲۷
-----------------	---------------------	---------------------	---	----------------------	------------------------	------------------

جدول ۸: نتایج آنالیز واریانس حذف یون کادمیم توسط کیتوزان دانه‌ای

مقدار P Pro.>F	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	موارد
$<0,0001^S$	۱۵,۷۷	۵۵۴,۸	۱۴	۷۷۶۷,۳۲	مدل
$<0,0001^S$	۹۸,۹۱	۳۴۸۰,۰۴	۱	۳۴۸۰,۰۴	pH: A
$0,0358^S$	۵,۳۲	۱۸۷,۰۴	۱	۱۸۷,۰۴	B: زمان تماس
$<0,0001^S$	۳۴,۶۳	۱۲۱۸,۳۷	۱	۱۲۱۸,۳۷	C: مقدار جاذب
$<0,0001^S$	۴۲,۳	۱۴۸۸,۳۸	۱	۱۴۸۸,۳۸	D: غلظت اولیه یون
$0,0483^S$	۴,۶۲	۱۶۲,۵۶	۱	۱۶۲,۵۶	AB
$0,0411^{NS}$	۴,۹۹	۱۷۵,۵۶	۱	۱۷۵,۵۶	AC
$0,8359^{NS}$	۰,۰۴۴	۱,۵۶	۱	۱,۵۶	AD
$0,9669^{NS}$	۰,۰۰۲	۰,۰۶۳	۱	۰,۰۶۳	BC
$0,9669^{NS}$	۰,۰۰۱۸	۰,۰۶۲	۱	۰,۰۶۲	BD
$0,0091^S$	۸,۹۵	۳۱۵,۰۶	۱	۳۱۵,۰۶	CD
$0,0006^S$	۱۸,۹۳	۶۶۵,۸۶	۱	۶۶۵,۸۶	A ^۲
$0,3269^{NS}$	۱,۵۹	۵۵,۸۶	۱	۵۵,۸۶	B ^۲
$0,3676^{NS}$	۰,۸۶	۳۰,۳۶	۱	۳۰,۳۶	C ^۲
$0,6203^{NS}$	۰,۲۶	۹	۱	۹	D ^۲
		۳۵,۱۸	۱۵	۵۲۷,۷۵	باقیمانده
$0,0071^{NS}$	۳,۹۹	۴۶,۸۹	۱۰	۴۶۸,۹۲	نقص برازش
		۱۱,۷۷	۵	۵۸,۸۳	خطای خالص
			۲۹	۸۴۹۲,۹۷	کل

سایر پارامترهای آماری

میانگین=۷۴,۳۷	انحراف معیار=۵,۹۳	ضریب تغییرات=۷,۹۸	مجموع مربعات باقیمانده خطای بخش‌های شده=۲۷۸۵,۷	ضریب همبستگی=۰,۹۴	ضریب تعیین تعدیل شده=۰,۸۸	ضریب تبیین=۰,۶۶	دقت کافی=۱۶,۵
---------------	-------------------	-------------------	--	-------------------	---------------------------	-----------------	---------------

جدول ۹: نتایج آنالیز واریانس حذف یون کبات توسط کیتوزان دانه‌ای

مقدار P Pro.>F	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	موارد
$<0,0001^S$	۱۳,۵۷	۵۰۶,۱۶	۱۴	۷۰۸۶,۲۴	مدل
$<0,0001^S$	۱۰۳,۲۲	۳۸۵۰,۶۷	۱	۳۸۵۰,۶۷	PH: A
$0,0351^S$	۲۰,۶۶	۷۷۰,۶۷	۱	۷۷۰,۶۷	B: زمان تماس
$<0,0001^S$	۱۳,۵۱	۵۰۴,۱۷	۱	۵۰۴,۱۷	C: مقدار جاذب
$0,0004^S$	۵,۶۳	۲۱۰,۰۴	۱	۲۱۰,۰۴	D: غلظت اولیه یون فلزی
$0,0022^S$	۰,۶۷	۲۵	۱	۲۵	AB
$0,0315^S$	۴,۸۹	۱۸۲,۲۵	۱	۱۸۲,۲۵	AC
$0,0227^{NS}$	۶,۴۴	۲۴۰,۲۵	۱	۲۴۰,۲۵	AD
$0,2697^{NS}$	۱,۳۱	۴۹	۱	۴۹	BC
$0,0267^S$	۶,۰۳	۲۲۵	۱	۲۲۵	BD
$0,0227^S$	۶,۴۴	۲۴۰,۲۵	۱	۲۴۰,۲۵	CD
$0,0037^S$	۱۱,۸۲	۴۴۱,۱۵	۱	۴۴۱,۱۵	A ^۲
$0,2533^{NS}$	۱,۴۱	۵۲,۶۵	۱	۵۲,۶۵	B ^۲
$0,4595^{NS}$	۰,۵۸	۲۱,۵	۱	۲۱,۵	C ^۲
$0,0365^S$	۵,۲۷	۱۹۶,۵۷	۱	۱۹۶,۵۷	D ^۲
		۳۷,۳۱	۱۵	۵۵۹,۶	باقیمانده
$0,0083^{NS}$	۳,۶۶	۴۹,۲۳	۱۰	۴۹۲,۲۷	نقص برازش
		۱۳,۴۷	۵	۶۷,۳۳	خطای خالص
			۲۹	۷۶۴۵,۸۴	کل

سایر پارامترهای آماری

میانگین = ۷۳,۷	انحراف معیار = ۶,۱۱	ضریب تغییرات = ۸,۲۸	مجموع مربعات باقیمانده خطای بخش‌بندی شده = ۲۹۳۲,۴	ضریب همبستگی = ۰,۹۳	ضریب تعیین تعدیل شده = ۰,۸۶	ضریب تبیین = ۰,۶۲	دقت کافی = ۱۵,۷
----------------	---------------------	---------------------	---	---------------------	-----------------------------	-------------------	-----------------

نتایج تحلیل واریانس نشان داد مدل درجه دوم آماری بر داده ها برازش خوبی دارد. برازش مدل های مناسب، به وسیله ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تعدیل شده ($Adj.R^2$)، ضریب تغییرات (C.V) و کفایت دقت (AP) مورد بررسی قرار گرفت. مقدار p-value ($P < 0/0001$) نشان داد که، مدل چند جمله ای درجه دوم از نظر آماری معنی دار است. ضریب R^2 ، نسبت کل تغییرات پاسخ پیش بینی شده توسط مدل را ارائه می دهد که نشان دهنده نسبت مجموع مربعات ناشی از رگرسیون (SSR) به کل مجموع مربعات (SST) است. بزرگ بودن R^2 و نزدیک به ۱ بودن آن مطلوب بوده و یک توافق مطلوب با R^2 تعدیل یافته ($R^2 Adj$) است.

بزرگ بودن R^2 تایید کننده تطابق رضایت بخش داده های آزمایش بر مدل درجه ۲ است. کفایت دقت (AP)، مقادیر پیش بینی شده در نقاط طراحی را با متوسط خطای پیش بینی مقایسه می کند. مقادیر بالاتر از ۴ برای این نسبت بیان کننده کفایت مدل است که در جداول این نسبت بالاتر از ۴ بوده و سیگنال کافی را نشان می دهد. ضریب تغییرات (C.V) که بصورت نسبت خطای استاندارد برآورد به میانگین مقدار پاسخ مشاهده شده بیان می شود، تکرارپذیری مدل را تعریف می کند. بطور معمول، در صورتی می توان یک مدل را تکرار پذیر در نظر گرفت که مقدار C.V آن بیش از ۱۰٪ نباشد. همان طور که در جداول مشاهده می شود مقدار C.V کمتر از ۱۰ می باشد.

معادله نهایی راندمان حذف سرب بر طبق مدل چندجمله‌ای درجه دوم

$$Y = 77,42 + 9,38A + 2,87B + 5,79C + 2,04D + 4,06AB - 2,06BC - 2,44BD + 1,69CD - 3,51A^2 - 3,26B^2 - 2,01C^2 - 2,26D^2$$

Y: متغیر وابسته (درصد حذف سرب)

A: PH

B: زمان تماس

C: غلظت جاذب

D: غلظت اولیه آلاینده فلزی

AB, AC, BD, CD: اثرات متقابل متغیرها

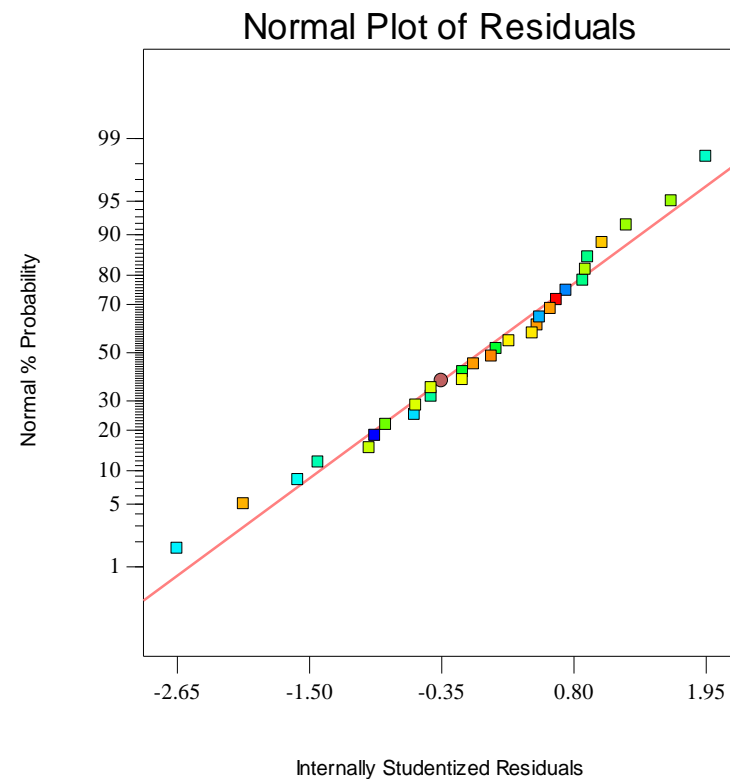
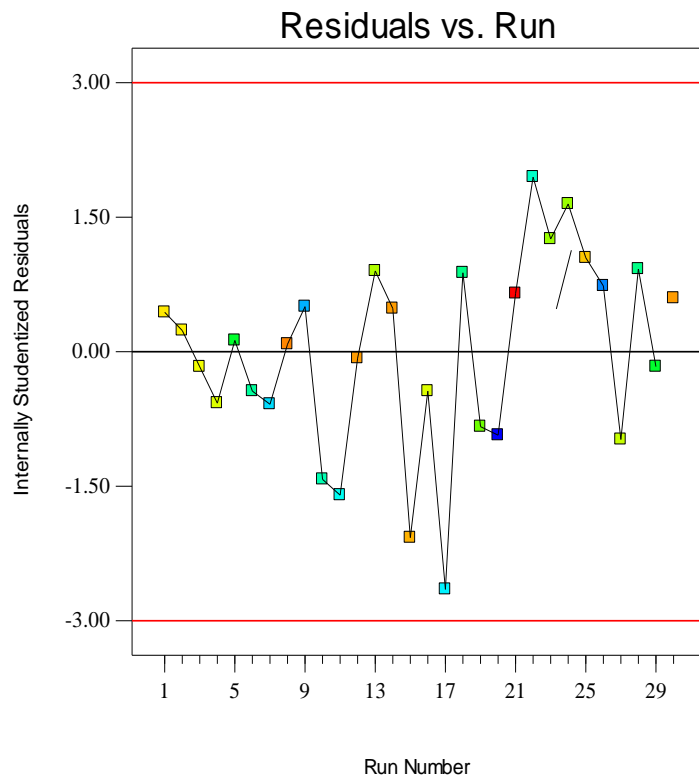
A^2, B^2, C^2, D^2 : اثرات توان درجه دوم

معادله نهایی راندمان حذف کادمیم بر طبق مدل چندجمله‌ای درجه دوم

$$Y = 79.83 + 12.04A + 2.79B + 7.13C - 7.88D + 3.19AB + 3.31AC + 4.44CD - 4.93A^2$$

معادله نهایی راندمان حذف کبالت بر طبق مدل چندجمله‌ای درجه دوم

$$Y = 76.67 + 12.67A + 5.67B + 4.58C + 2.96D + 3.38AC + 3.88AD + 3.75BD + 3.87CD + 4.01A^2 + 2.68D^2$$

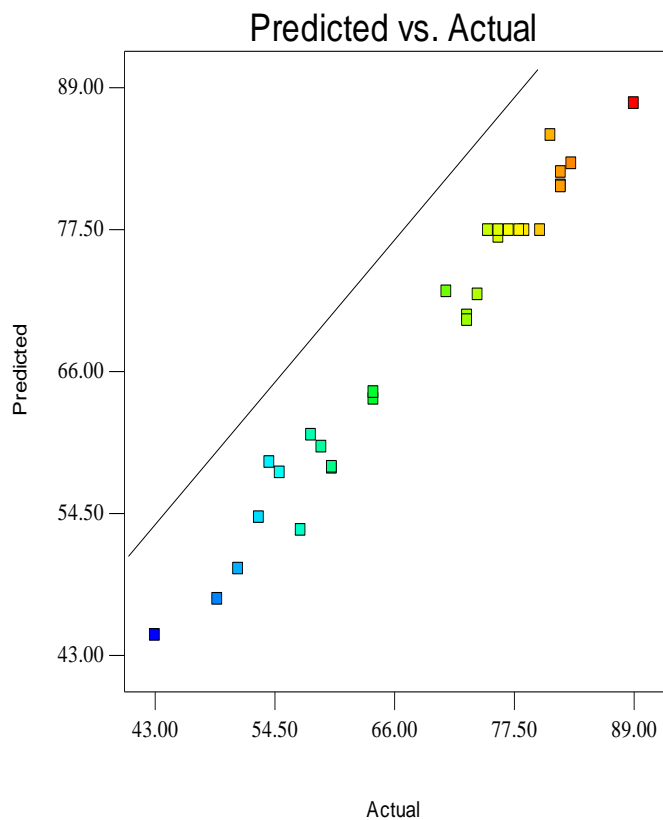


ب

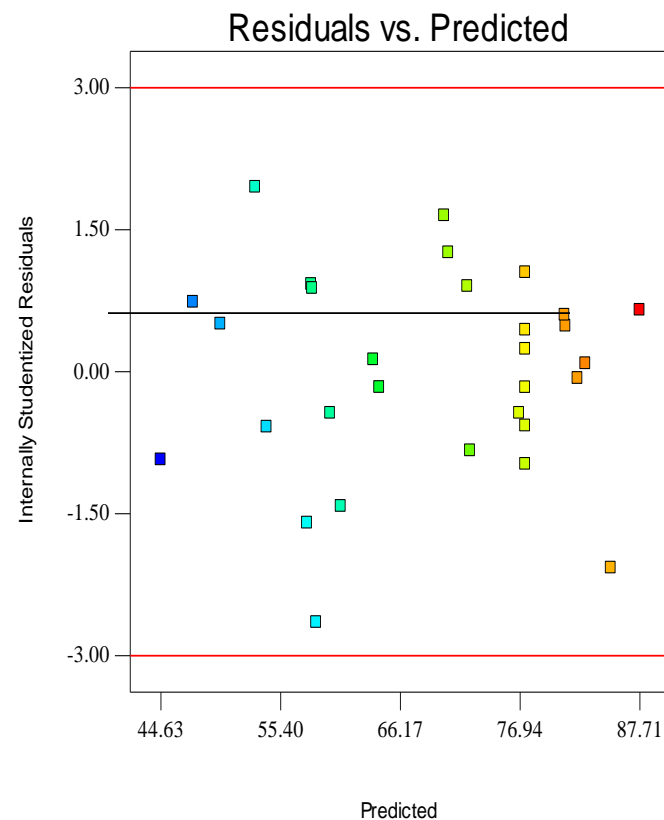
الف

شکل ۱-الف. نمودار احتمال توزیع نرمال باقیمانده‌ها برای حذف سرب

شکل ۱-ب: نمودار پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایش‌های سرب



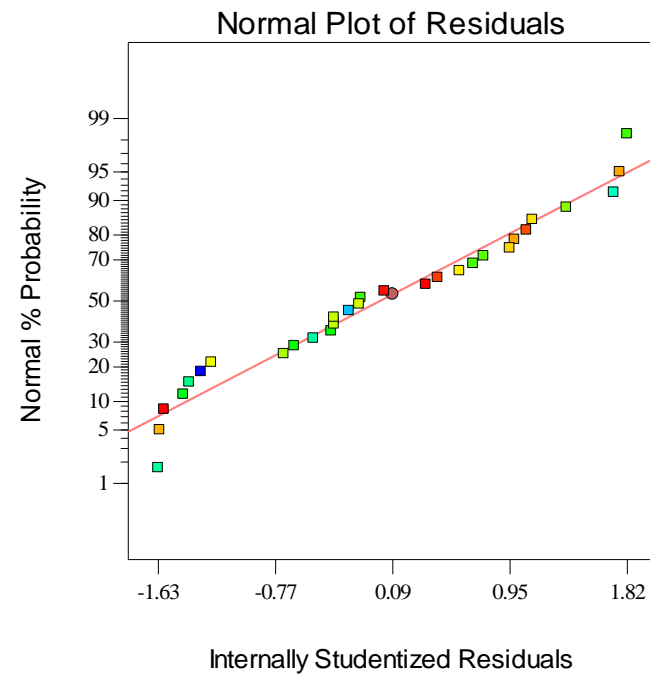
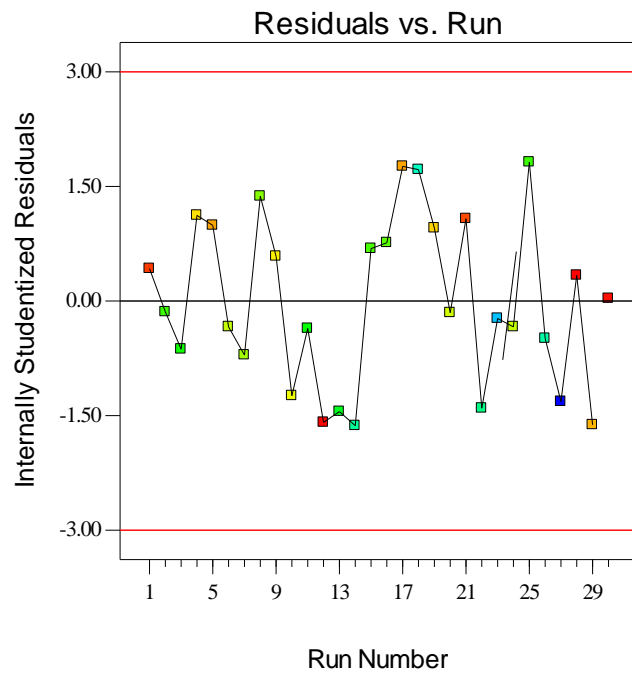
ب



الف

شکل ۲-الف. نمودار توزیع باقیمانده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل در مقابل باقیمانده‌ها برای حذف سرب

شکل ۲-ب: نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر واقعی

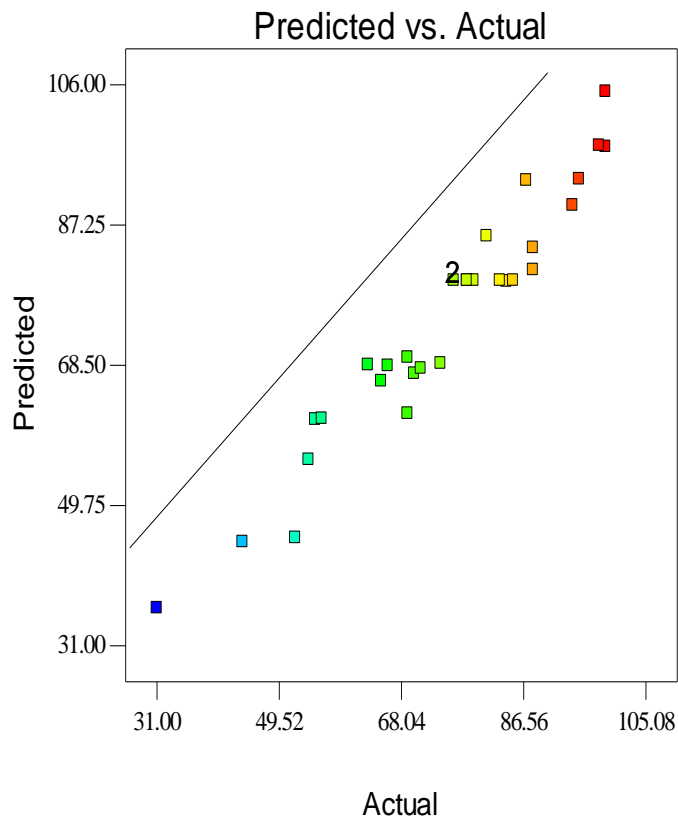


ب

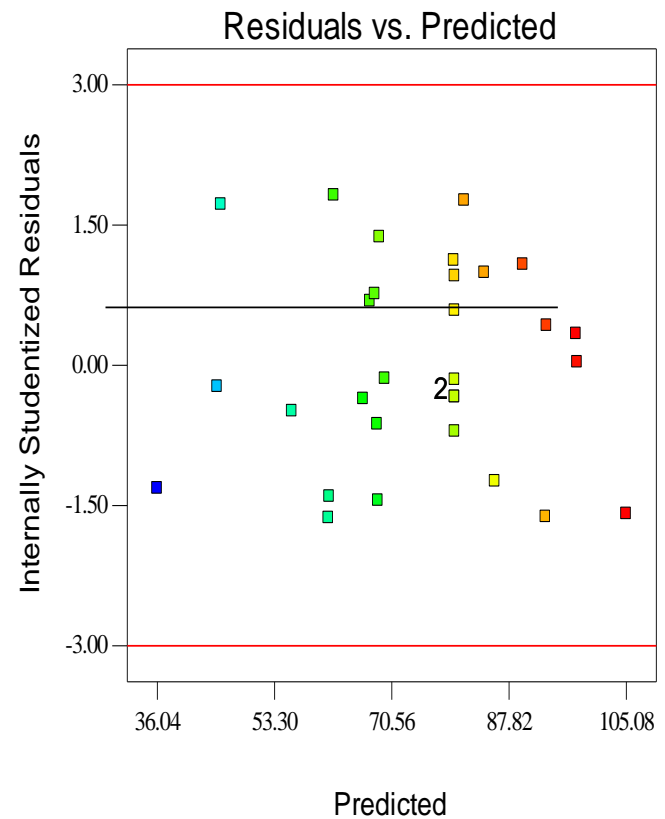
الف

شکل ۳-الف. نمودار احتمال توزیع نرمال باقیمانده‌ها برای حذف کادمیم

شکل ۳-ب: نمودار پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایش‌ها

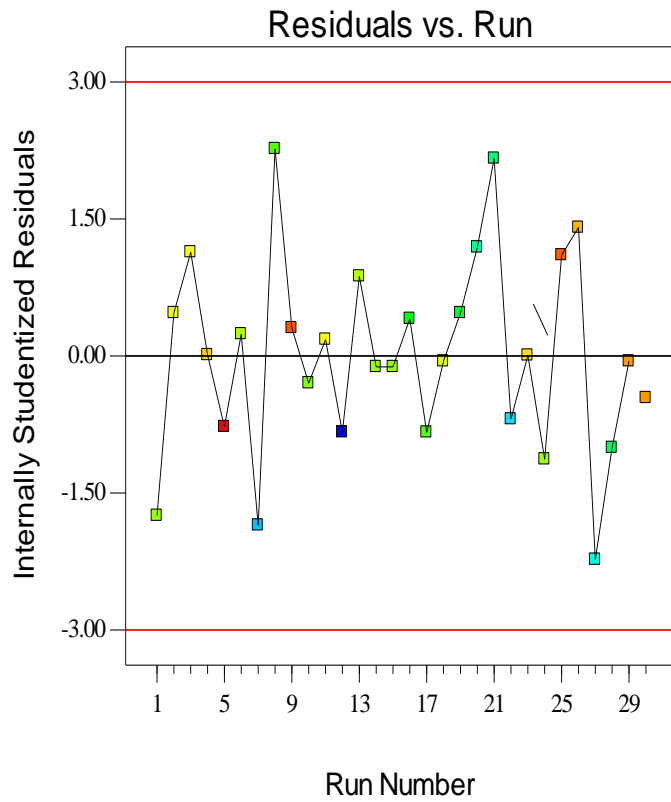


ب

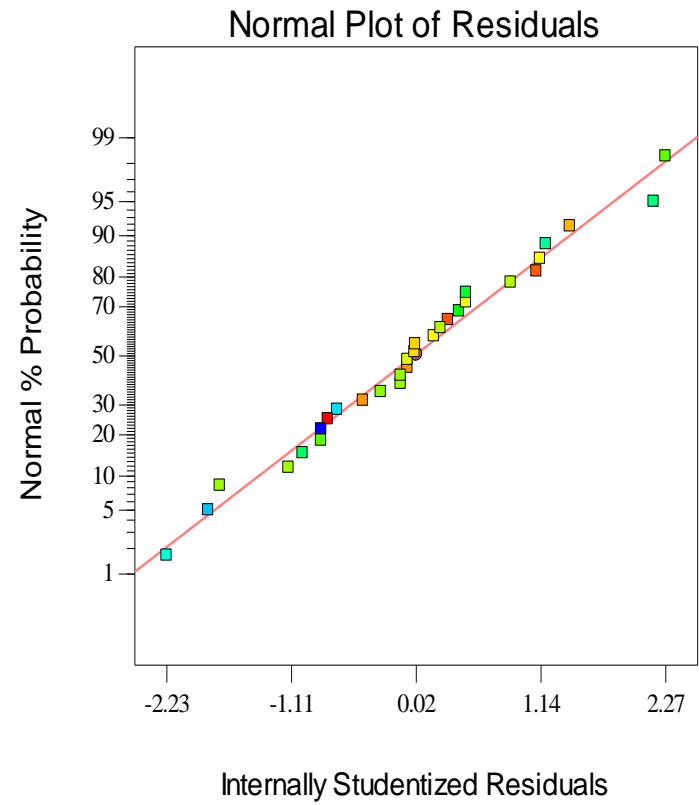


الف

- شکل ۴-الف: نمودار توزیع باقیمانده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل در مقابل باقیمانده‌ها برای حذف کادمیم
- شکل ۴-ب: نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر واقعی



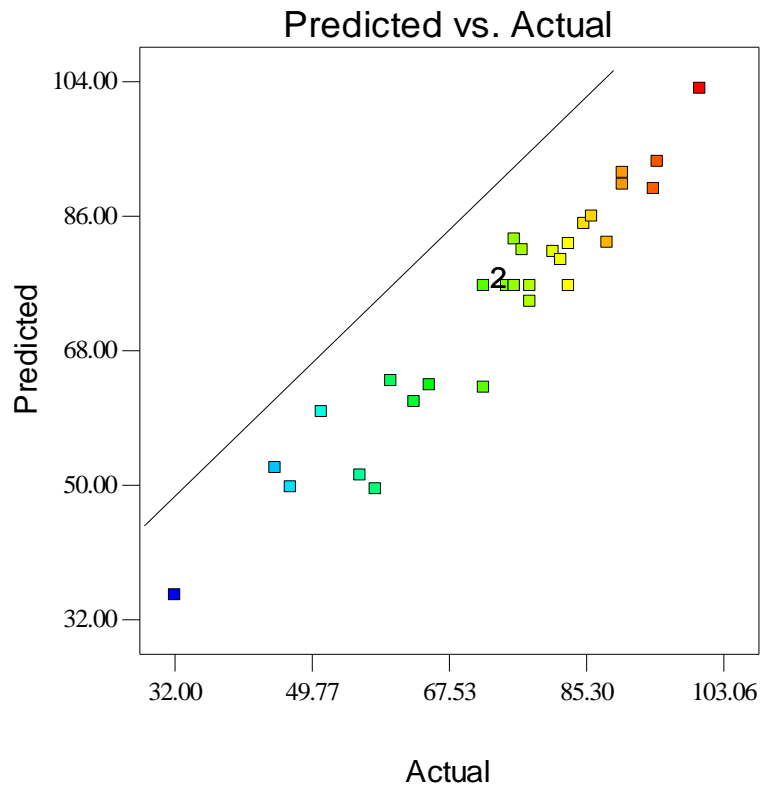
ب



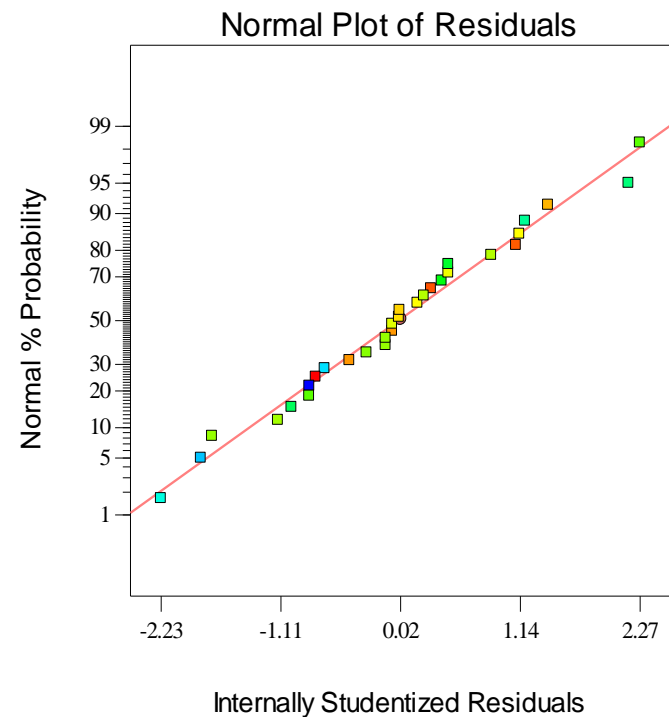
الف

شکل ۵-الف: نمودار احتمال توزیع نرمال باقیمانده‌ها برای حذف کبالت

شکل ۵-ب: نمودار پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایش‌ها



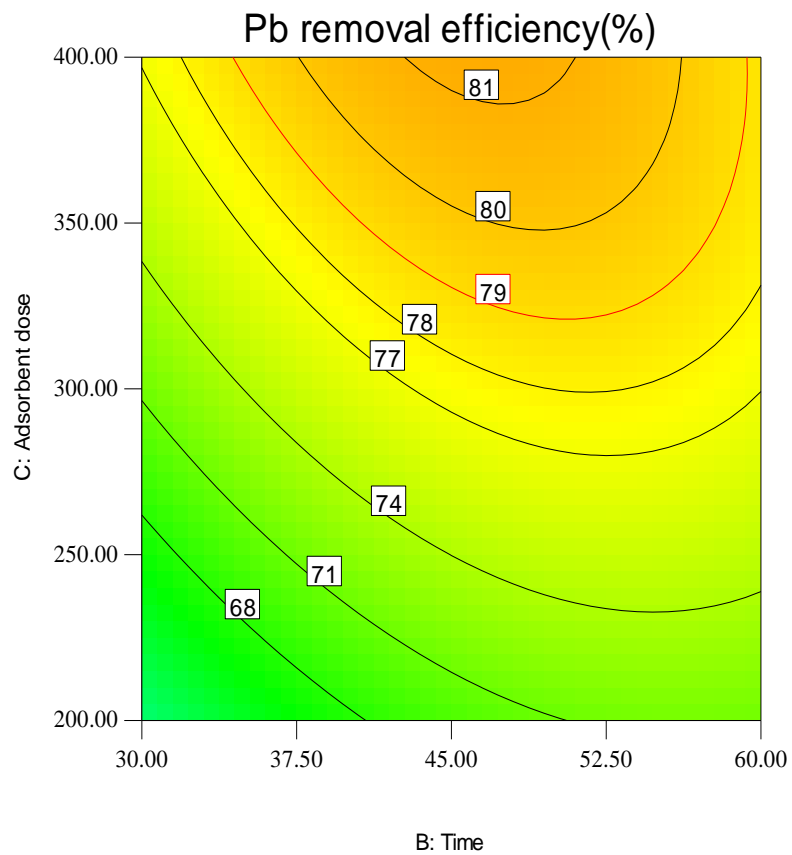
ب



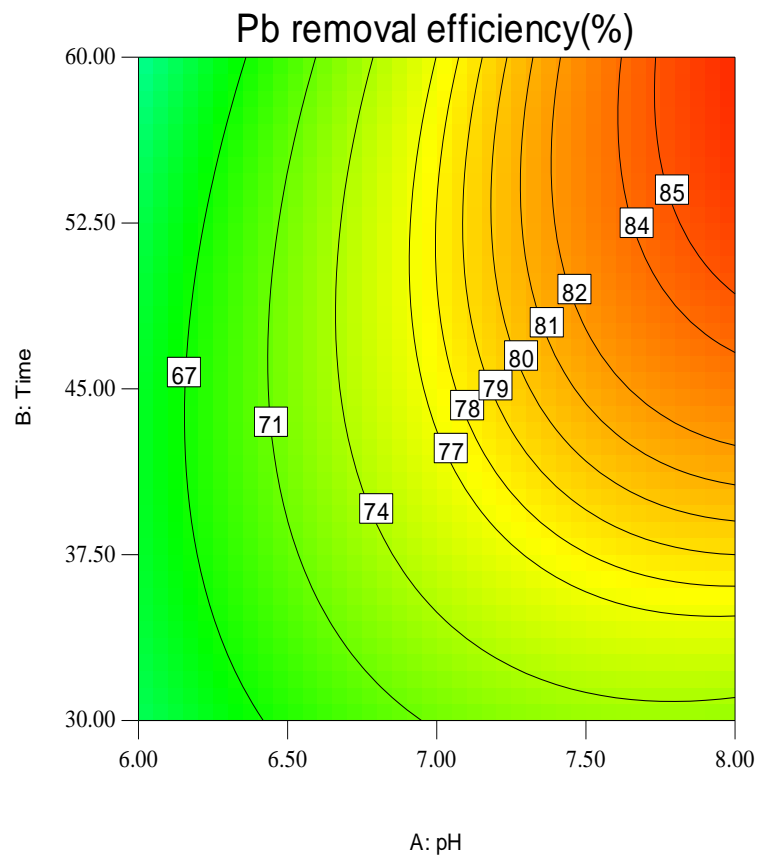
الف

شکل ۶-الف: نمودار توزیع باقیمانده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل در مقابل باقیمانده برای حذف کبالت

شکل ۶-ب: نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر واقعی



ب



الف

شکل ۷ (الف و ب): اثرات متقابل متغیرهای مورد آزمایش در حذف یون سرب از محلول آبی

اثر pH اولیه محلول

تایج نشان داد که کیتوزان بالاترین راندمان جذب در محیط قلیایی را دارد و درصد حذف یون‌های فلزی با افزایش pH، افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که بیشترین درصد حذف سرب، کادمیم و کبالت به ترتیب در pH برابر ۸، ۸/۹ و ۸/۵ حاصل شده است.

جذب یون‌های فلزی به مقدار زیادی به پروتونه شدن و یا غیر پروتونه شدن گروه‌های آمین و کربوکسیلیک موجود در کیتوزان دانه‌ای وابسته است. یون‌های فلزی در محیط اسیدی به‌طور عمده در اشکال بار مثبت با دو یا سه بار حضور دارند، با کاهش pH محلول گروه‌های آمین موجود در کیتوزان پروتونه می‌شوند، در نتیجه تعداد مکان‌های در دسترس با کیلاته کردن یون‌های فلزی کاهش یافته، موجب دفع الکترواستاتیکی کاتیون‌های فلزی می‌شود. در pH‌های بالاتر، لیگاند موجود در جاذب مانند COO^- ،

دانسیته بار منفی را روی سطح لیگاندها افزایش داده، در نتیجه جاذبه الکترواستاتیکی یون‌های فلزی با بار مثبت روی سطح لیگاند افزایش یافته و درصد جذب بیشتر خواهد شد (۸).

در پژوهشی که توسط نابل و راجا در سال ۲۰۱۵ با استفاده از کیتوزان خام و اصلاح شده برای حذف مس و کبالت انجام شد، pH بهینه برای هر دو فلز برابر ۹ به دست آمد (۸) که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. که به دلیل تشابه منبع کیتوزان خام و درجه دی استیلاسیون در دو مطالعه است.

ون نگاه و همکاران در سال ۲۰۰۲ در تحقیق خود pH برابر ۶ را به عنوان pH بهینه برای جذب یون مس توسط کیتوزان دانه‌ای و کیتوزان دانه‌ای با اتصال عرضی (کراس لینک کیتوزان) گزارش کرده‌اند (۹). که با مطالعه انجام شده همخوانی ندارد. ماهیت یون فلزی در جذب یون فلزی مؤثر است. در مطالعه ون نگاه از یون مس استفاده شده و در مطالعه حاضر از یون‌های کبالت، کادمیم و سرب استفاده شد.

در مطالعه شیم و همکاران در سال ۲۰۱۴ با عنوان مطالعه جذب برای حذف فلزات سنگین (کاتیون‌های مس، کادمیم، نیکل و سرب) با ترکیبات کیتوزان جی پلی (آکریلیک اسید با اکریل آمید)، pH بهینه برای حذف یون مس برابر ۶ و pH بهینه برای حذف کادمیم، نیکل و سرب برابر ۵ به دست آمد (۱۰). این نتایج با مطالعه حاضر همخوانی ندارد. در مطالعه شیم اصلاح شیمیایی صورت گرفته و در مطالعه حاضر اصلاح فیزیکی بر روی کیتوزان انجام گردید.

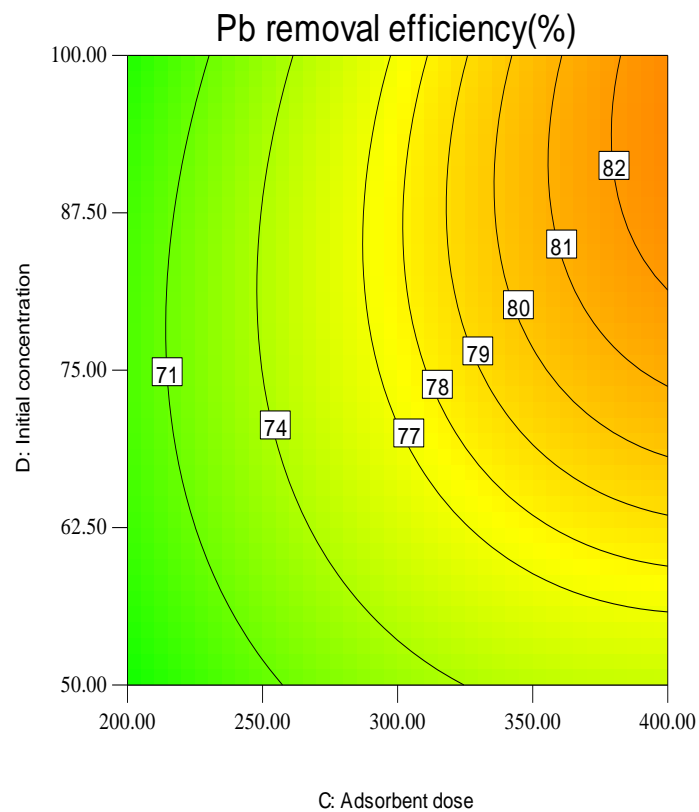
اثر زمان تماس

حذف یون‌های سرب، کادمیم و کبالت به ترتیب با افزایش زمان تماس تا ۵۰، ۲۴/۵ و ۲۰ دقیقه، افزایش یافته است. تماس مکانیکی، سطح ویژه کیتوزان برای حذف مؤثر را افزایش می‌دهد. افزایش بیشتر زمان تماس، راندمان حذف یون‌های فلزی را با ایجاد اختلال در تشکیل باند بین کیتوزان و یون‌های فلزی موجود در فاضلاب کاهش می‌دهد (۶).

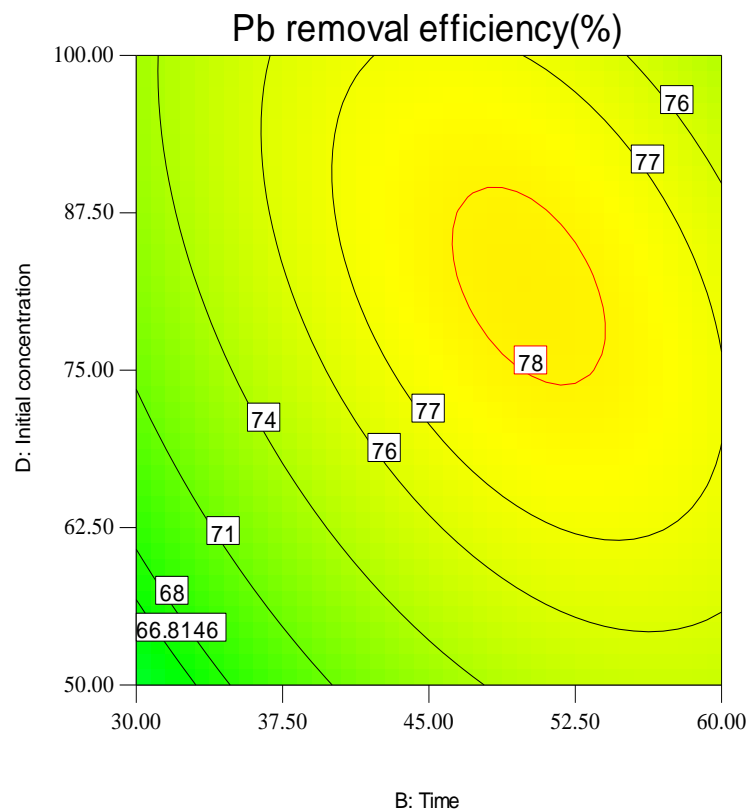
ون نگاه و همکاران در مطالعه حذف یون مس از محلول آبی با کیتوزان دانه‌ای و کیتوزان دانه‌ای با اتصال عرضی (کراس لینک) در سال ۲۰۰۲ زمان تماس بهینه برای حذف یون مس توسط کیتوزان دانه‌ای را ۶۰ دقیقه و کیتوزان دانه‌ای کراس لینک را ۹۰ دقیقه گزارش نمودند (۹). سرعت هم زدن در هر دو مطالعه یکسان بوده است. به نظر می‌رسد علت عدم همخوانی مطالعه حاضر با مطالعه ون نگاه در ماهیت یون فلزی به کار گرفته شده در آزمایش‌های مطالعه است در مطالعه ون نگاه از یون مس استفاده شده و در مطالعه حاضر از یون‌های کبالت، کادمیم و سرب استفاده شد.

در مطالعه نابل و راجا در سال ۲۰۱۵ با استفاده از کیتوزان خام و اصلاح شده برای حذف مس و کبالت، برای فلز کبالت با افزایش زمان تا ۲۰ دقیقه راندمان حذف افزایش یافته و از ۲۰ دقیقه تا ۱۰۰ دقیقه روند کاهشی در راندمان حذف فلز وجود داشته است ولی راندمان حذف فلز مس با زمان رابطه مستقیم داشت و از ۲۰ تا ۱۰۰ دقیقه افزایش یافت (۸). که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. که به دلیل تشابه منبع کیتوزان خام و درجه دی استیلاسیون در دو مطالعه است.

تیرانگ نان و همکاران در سال ۲۰۱۴ در مطالعه تصفیه فاضلاب خانگی با کیتوزان نشان دادند که با افزایش زمان تلاطم از ۱ تا ۲ دقیقه راندمان حذف افزایش یافت که به دلیل افزایش سطح ویژه کیتوران است (۶). در پژوهش تیرانگ نان از کیتوزان بر روی فاضلاب استفاده شده و در مطالعه حاضر کیتوزان برای حذف فلزات سنگین به کاررفته است.



د



ج

شکل ۷ (ج و د): اثرات متقابل متغیرهای مورد آزمایش در حذف یون سرب از محلول آبی

اثر غلظت اولیه یون فلزی

نتایج نشان داد با افزایش غلظت یون های فلزی از کارایی جذب کاسته می شود. در غلظت های پایین تر یون های فلزی، مکان های جذب فعال در سطح جاذب به اندازه کافی در دسترس هستند به طوری که با وجود واکنش همه یون های فلزی با مکان های جذب فعال در جاذب، هنوز مکان های جذب آزاد در سطح جاذب وجود دارند اما در غلظت های بالای یون فلزی، تعداد یون های فلزی در مقایسه با مکان های جذب فعال بیشتر است بنابراین با افزایش غلظت یون های فلزی، درصد حذف توسط جاذب کاهش می یابد (۱۱، ۱۲).

در مطالعه اخلاصی و همکاران در سال ۲۰۱۱ که از نانو ذرات کیتوزان در جذب یون‌های فلزی سرب از محلول‌های آبی استفاده شد تأثیر غلظت اولیه یون‌های فلزی در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت که بیشترین درصد حذف سرب ۸۶ درصد در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر گزارش گردید (۱۱). که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی ندارد. در مطالعه اخلاصی از نانو ذرات کیتوزان استفاده شده و محدوده غلظت اولیه به کار رفته در آن ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بوده است ولی در مطالعه حاضر از کیتوزان دانه‌ای و غلظت اولیه ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد.

کالیانی و همکاران در سال ۲۰۰۹ در تحقیق خود در حذف یون‌های مس توسط ترکیب کیتوزان-پرلیت نشان دادند که با افزایش غلظت محلول یونی از ۵۰ به ۲۰۰ میلی گرم در لیتر راندمان جذب کاهش و ظرفیت جذب افزایش یافته است. بیشینه ظرفیت جذب به دست آمده با استفاده از ۵ گرم در لیتر جاذب و زمان تماس ۴ ساعت، ۱۹۶ میلی گرم بر گرم عنوان شده است (۱۳). در هر دو مطالعه از غلظت اولیه ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد که نتایج مربوط به غلظت اولیه آن با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

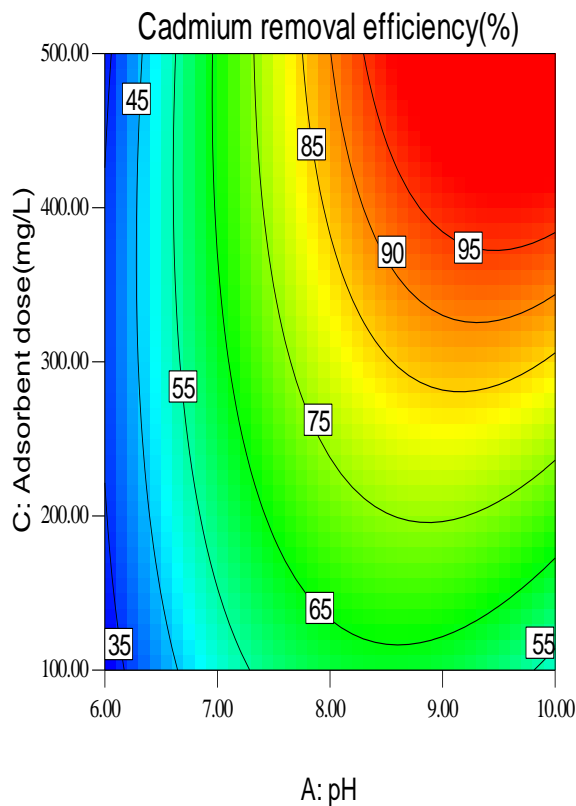
اثر غلظت جاذب

از نتایج مشخص شد که راندمان حذف یون های سرب، کادمیم و کبالت با افزایش مقدار کیتوزان در طول دوره آزمایش افزایش یافت. به طوری که بیشترین راندمان برای حذف سرب، کادمیم و کبالت در دوز جاذب ۳۹۷، ۲۹۶/۶ و ۳۸۵ میلی گرم در لیتر بدست آمد. با افزایش غلظت جاذب با توجه به افزایش مکان های فعال در سطح جاذب، فضای سطحی بیشتری برای جذب وجود دارد، بنابراین نفوذ یون های فلزی به مکان های جذب راحت تر صورت می گیرد. در نتیجه بازده حذف یون های فلزی افزایش یافته است (۱۱، ۱۲).

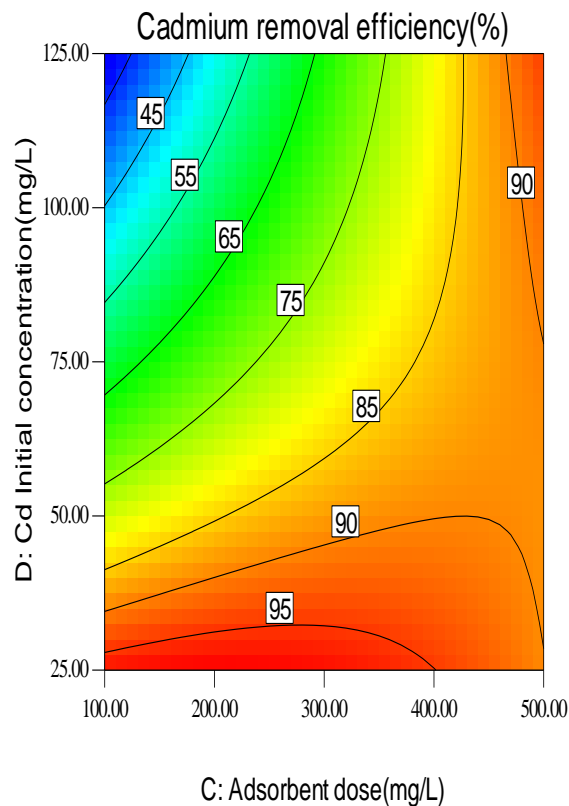
سالاه و همکاران در سال ۲۰۱۳ در مطالعه خود با عنوان بررسی حذف کادمیم از فاضلاب با استفاده از ترکیب نانوهیدروکسی آپاتیت با کیتوزان نشان دادند که با افزایش مقدار جاذب از ۰٫۱ گرم تا ۰٫۴ گرم راندمان جذب افزایش یافت (۱۴). یون موردنظر در هر دو مطالعه کادمیم بوده و نتایج آن با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

سان و همکاران در سال ۲۰۰۹ از ترکیب کیتوزان-سلولز برای حذف یون‌های سرب استفاده کردند میزان جاذب به کاررفته در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، ۲ گرم در لیتر بوده است. در این شرایط ظرفیت جذب ۱۲/۱۳ میلی گرم بر گرم به دست آمده است (۱۵). که با نتایج این مطالعه همخوانی ندارد. در مطالعه سان از ترکیب کیتوزان با سلولز به عنوان ماده جاذب استفاده شد ولی در مطالعه حاضر کیتوزان خام به صورت اصلاح شده و با عنوان کیتوزان دانه‌ای به کار گرفته شده است.

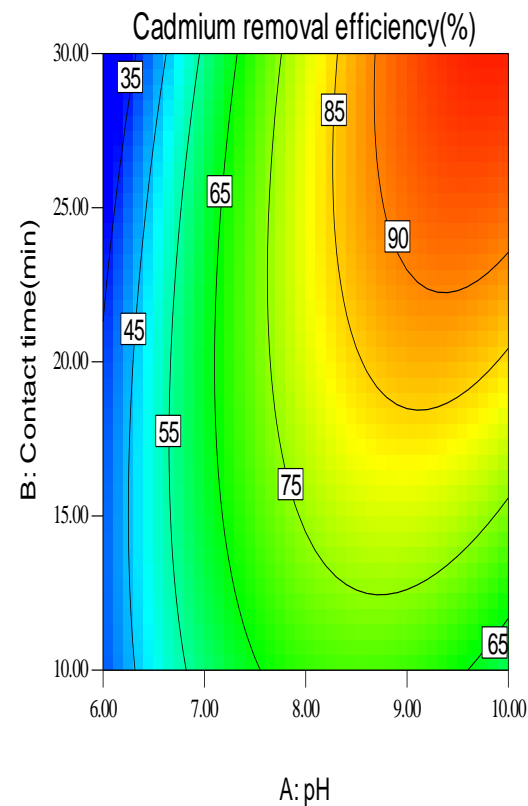
تیرانگ نان و همکاران در مطالعه تصفیه فاضلاب خانگی با کیتوزان در سال ۲۰۱۴ که برای حذف کدورت، BOD و COD، گزارش نمودند که با افزایش مقدار کیتوزان از ۳۰۰ به ۶۰۰ میلی گرم راندمان حذف فلز افزایش یافت (۶) که با مطالعه حاضر همخوانی ندارد. ویژگی‌های فاضلاب خانگی و فاضلاب صنعتی با هم تفاوت دارند لذا میزان جاذب لازم برای حذف آلاینده موجود در آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود.



ج

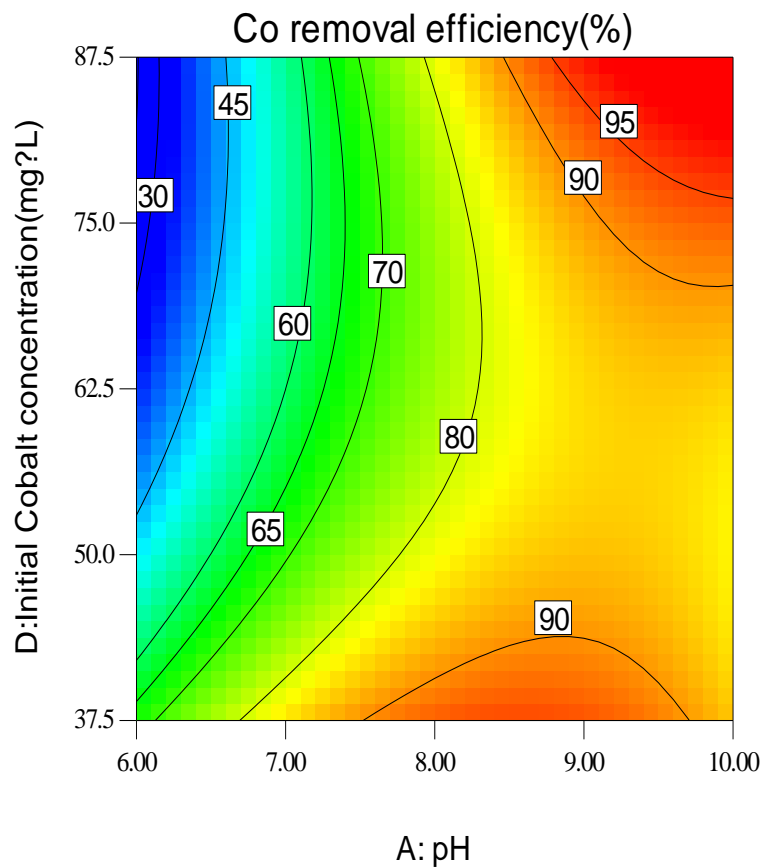


ب

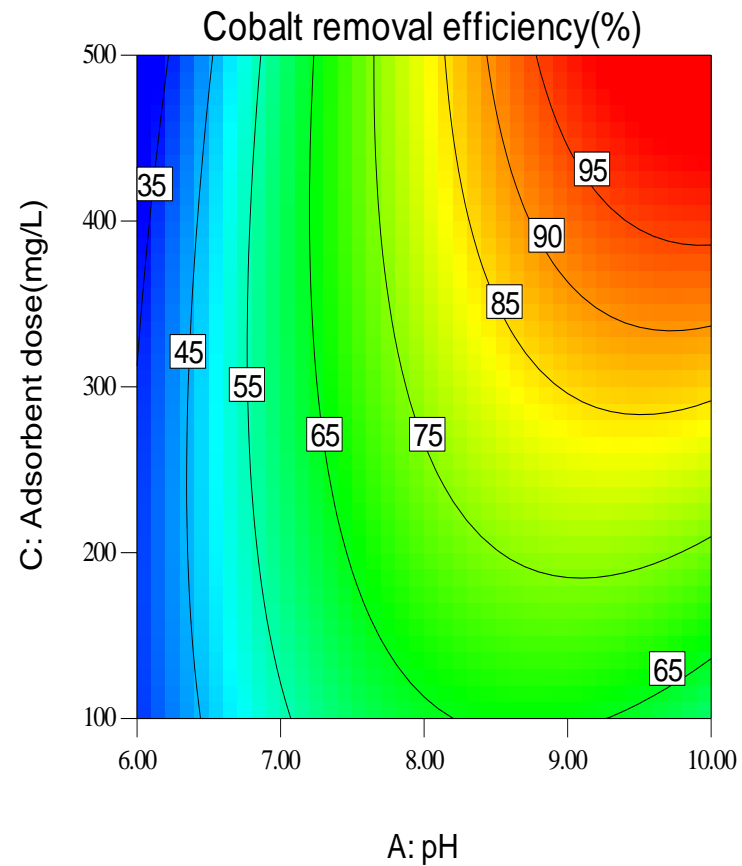


الف

آ شکل ۸: اثرات متقابل متغیرهای مورد آزمایش در حذف یون کادمیم از محلول آبی

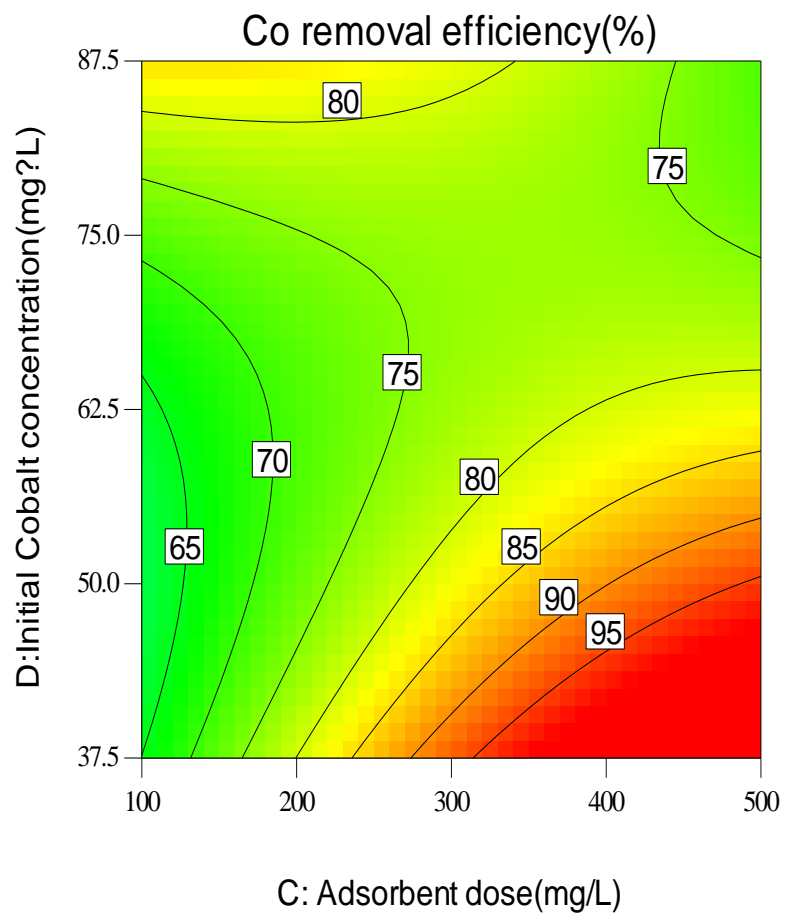


ب

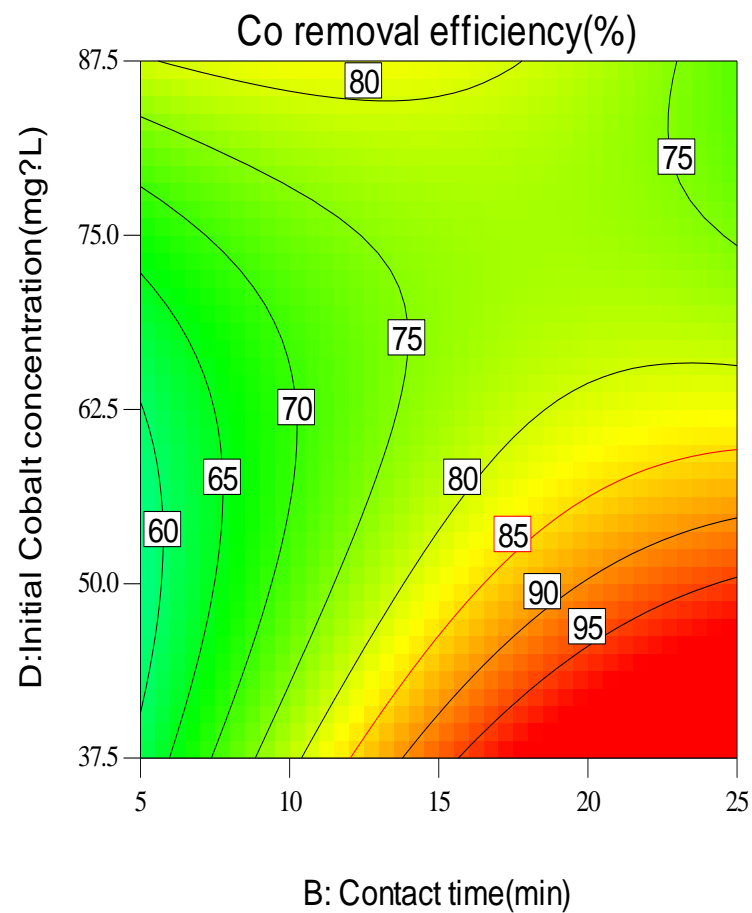


الف

شکل ۹ (الف و ب): اثرات متقابل متغیرهای مورد آزمایش در حذف یون کبالت از محلول آبی



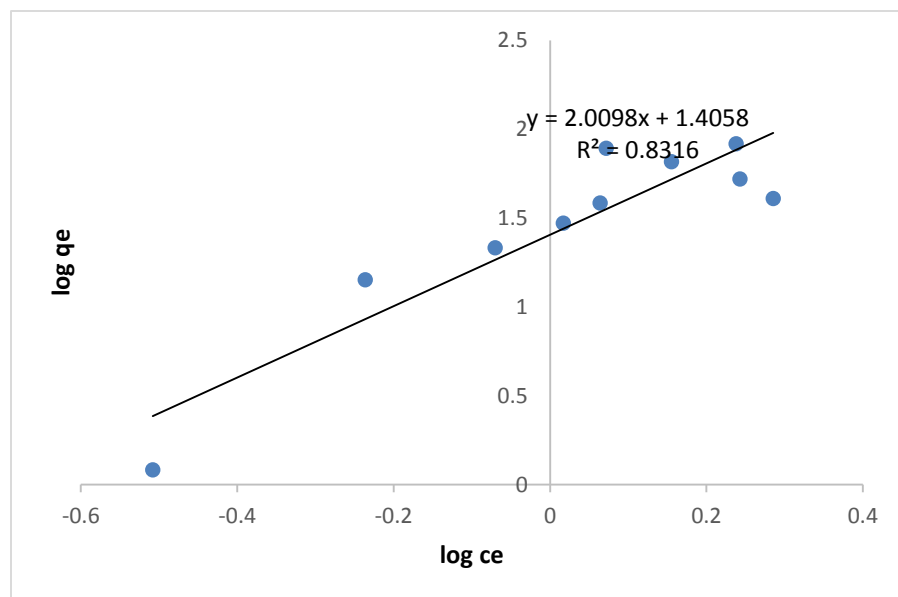
د



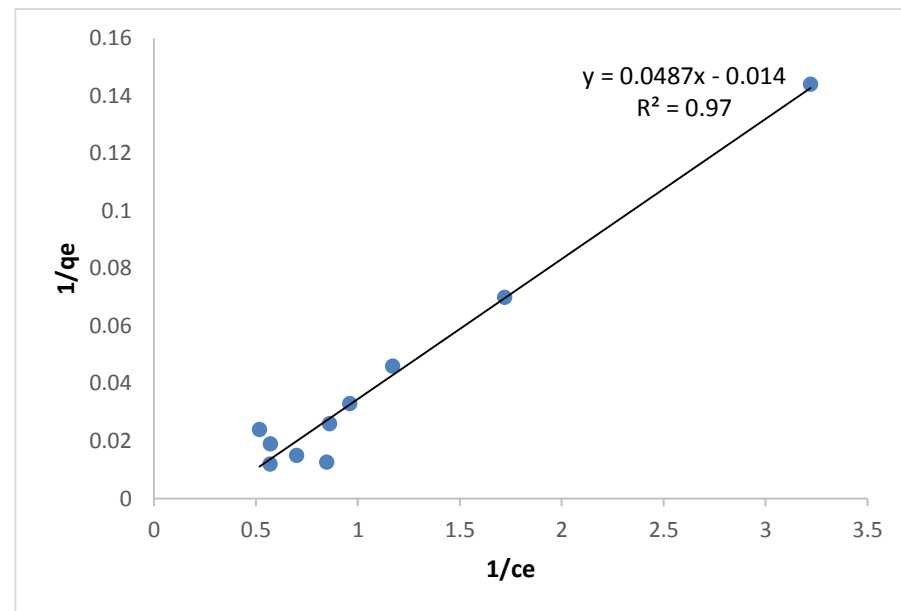
ج

شکل ۹ (ج و د): اثرات متقابل متغیرهای مورد آزمایش در حذف یون کبالت از محلول آبی

ایزوترم جذب



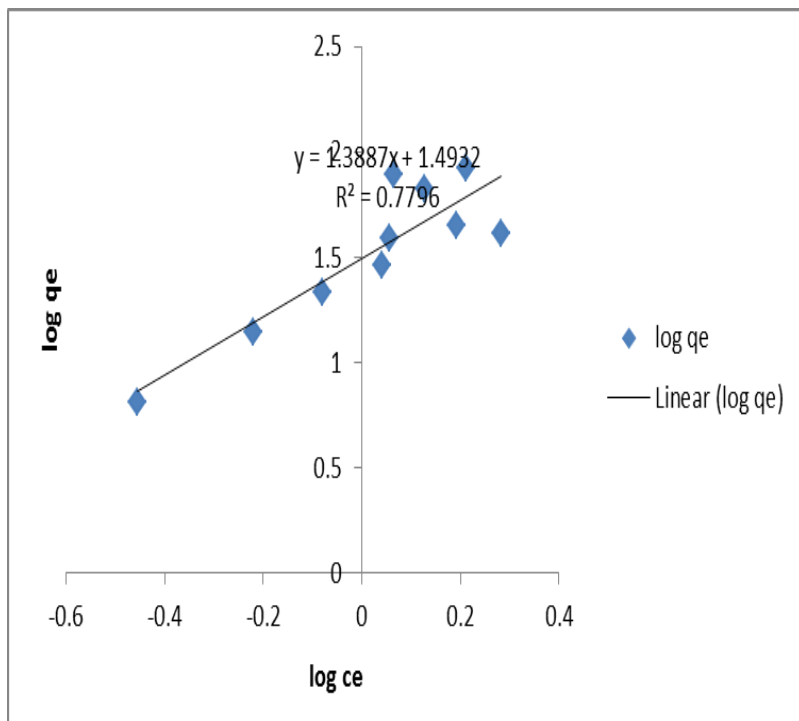
ب



الف

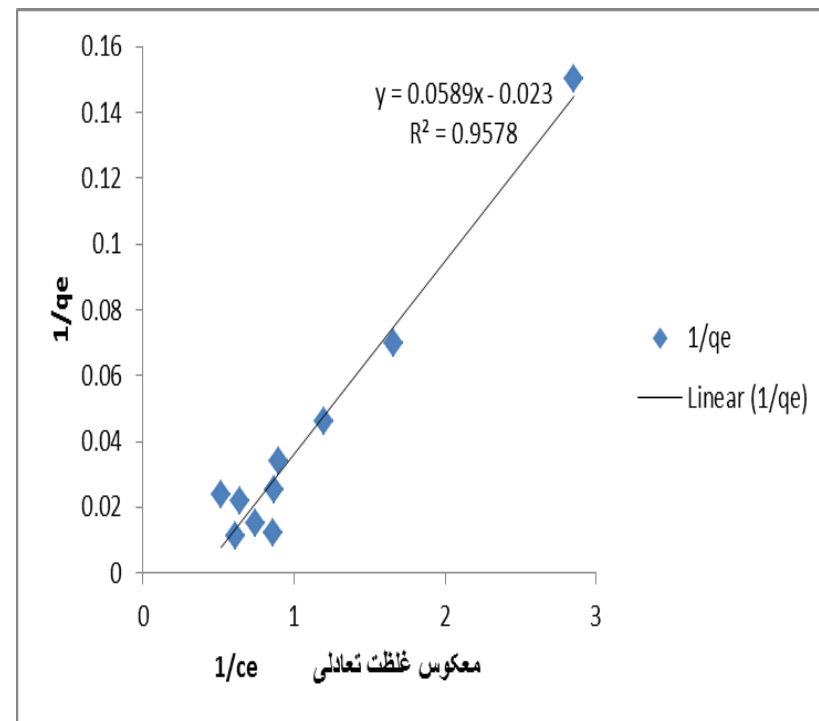
نمودار ۱-ب: مدل ایزوترم جذب فروندلیچ یون
سرب توسط کیتوزان دانه ای

نمودار ۱-الف: مدل ایزوترم جذب لانگمیر یون
سرب توسط کیتوزان دانه ای



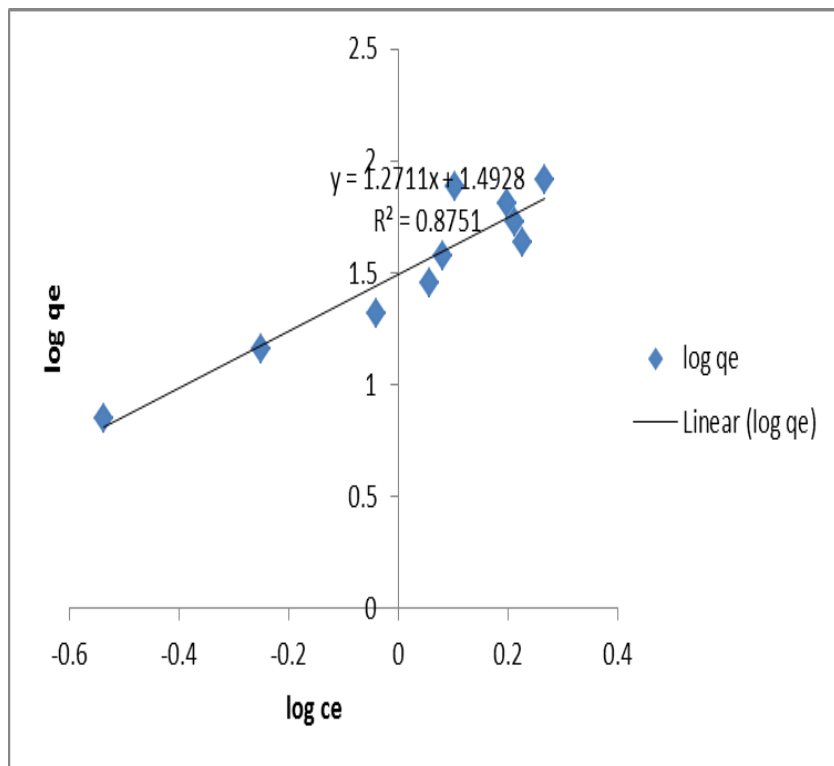
ب

نمودار ۲-ب: مدل ایزوترم جذب فروندلیچ یون کادمیم توسط کیتوزان دانه‌ای

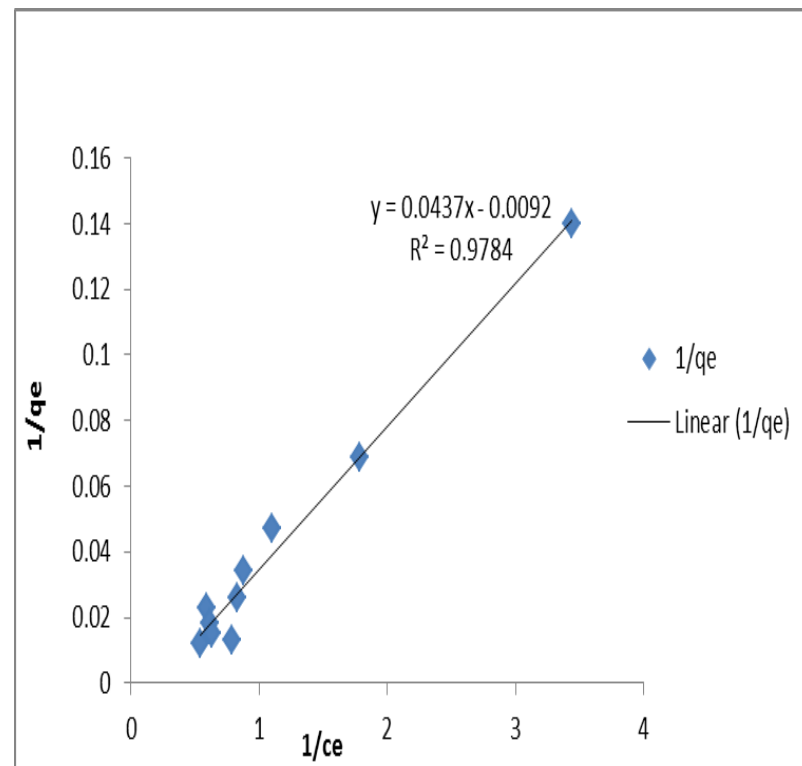


الف

نمودار ۲-الف: مدل ایزوترم جذب لانگمیر یون کادمیم توسط کیتوزان دانه‌ای



ب



الف

نمودار ۳-ب: مدل ایزوترم جذب فروندلیچ یون کبالت
توسط کیتوزان دانه‌ای

نمودار ۳-الف: مدل ایزوترم جذب لانگمیر یون کبالت
توسط کیتوزان دانه‌ای

جدول ۱۰: پارامترهای ایزوترم جذب یون سرب

ایزوترم	فروندلیچ					لانگمیر
پارامتر	R^2	n	k_f	R^2	k_l	$q_{max} (\frac{mg}{g})$
مقدار	۰/۸۳۱۶	۰/۴۹	۴/۰۷۸	۰/۹۷	۳/۴۷	۲۰/۵۳

جدول ۱۱: پارامترهای ایزوترم جذب یون کادمیم

ایزوترم	فروندلیچ					لانگمیر
پارامتر	R^2	n	k_f	R^2	k_l	$q_{max} (\frac{mg}{g})$
مقدار	۰/۷۷۹۶	۰/۷۲	۴/۴۵	۰/۹۵۷۸	۲/۵۶	۱۶/۹۷

جدول ۱۲: پارامترهای ایزوترم جذب یون کبالت

ایزوترم	فروندلیچ		لانگمیر			
پارامتر	R^2	n	k_f	R^2	k_l	$q_{max} (\frac{mg}{g})$
مقدار	۰/۸۷۵۱	۰/۷۸	۴/۴۴	۰/۹۷۸۴	۴/۷۵	۲۲/۸۸

فاکتور جداسازی

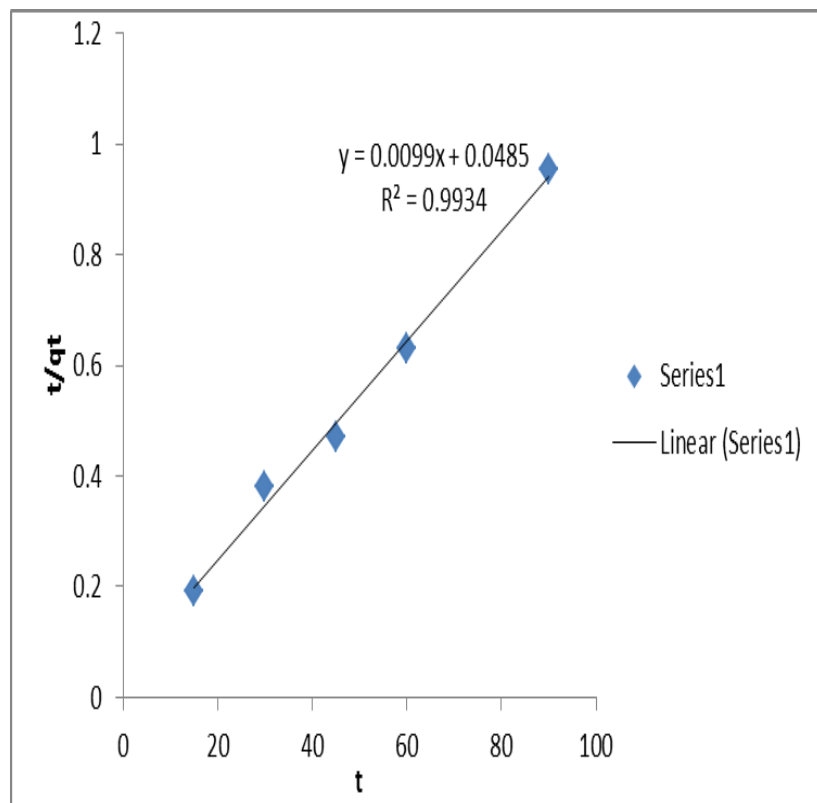
خصوصیات لازم و امکان پذیر ایزوترم لانگمیر را می توان با ثابت بدون بعد به نام فاکتور جداسازی بیان کرد.

$$R_l = \frac{1}{1 + bC_0}$$

- **ایزوترم جذب**

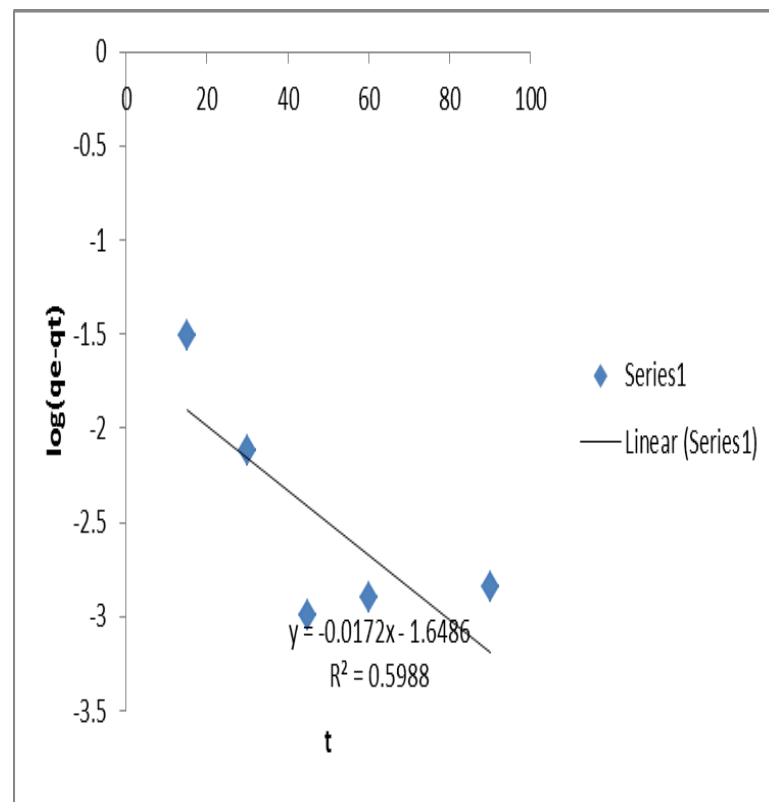
- با توجه به نمودارها و داده های مربوط به ایزوترم فروندلیچ و لانگمیر که در جداول آمده، مشاهده می شود که هم دمای لانگمیر نسبت به فروندلیچ بهتر می تواند جذب یون های فلزی با کیتوزان دانه ای را پیش بینی کند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که سطح جاذب همگن است و جذب سطحی عمدتاً به صورت تک لایه انجام می شود. پارامتر مدل لانگمیر در جذب یون سرب، کادمیم و کبالت از لحاظ آماری به ترتیب در سطح اطمینان ۹۷٪، ۹۵/۷۸٪ و ۹۷/۸۴٪ است. بیشینه ظرفیت جذب برای سرب، کادمیم و کبالت به ترتیب برابر ۲۰/۵۳، ۱۶/۹۷ و ۲۲/۸۸ میلی گرم بر گرم بود.

سنتیک جذب



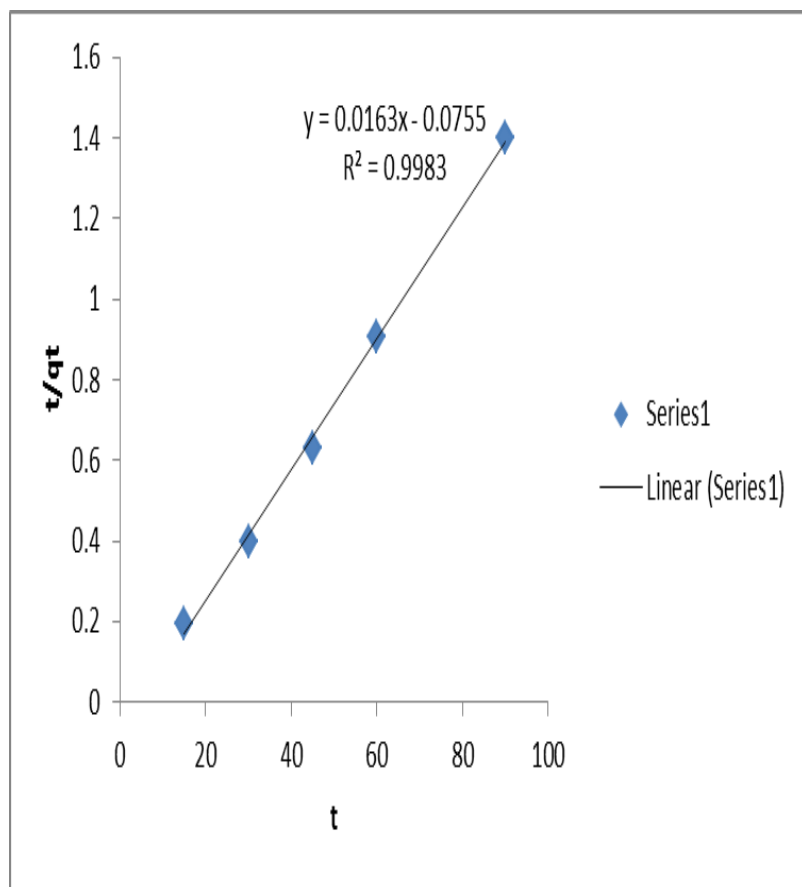
ب

نمودار ۴-ب: نمودار سینتیک درجه دوم سرب



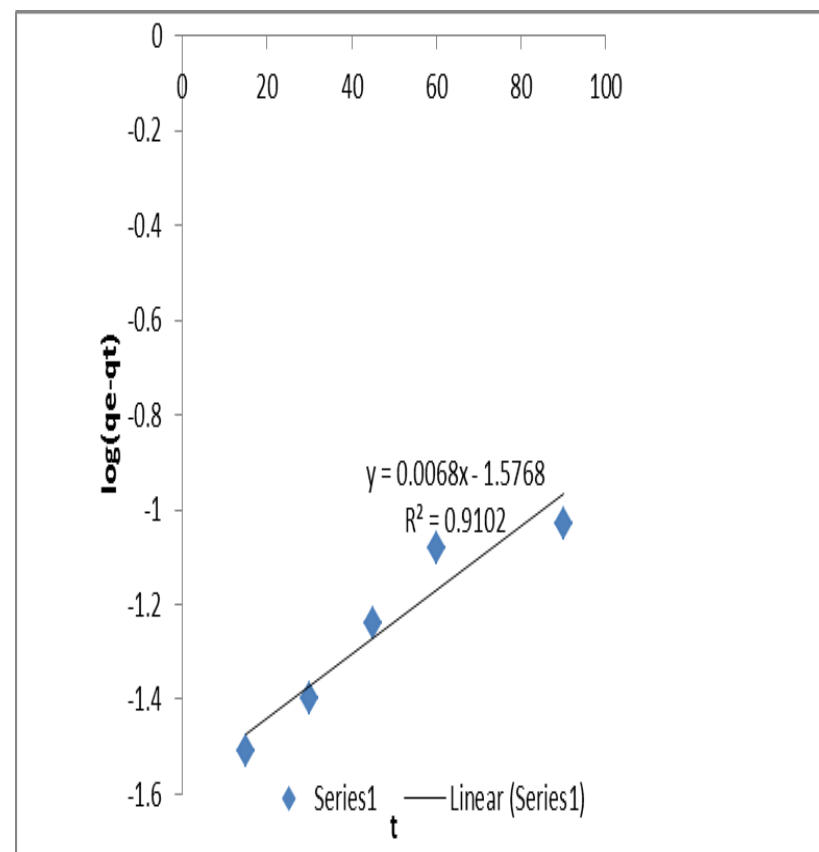
الف

نمودار ۴-الف: سینتیک درجه اول سرب



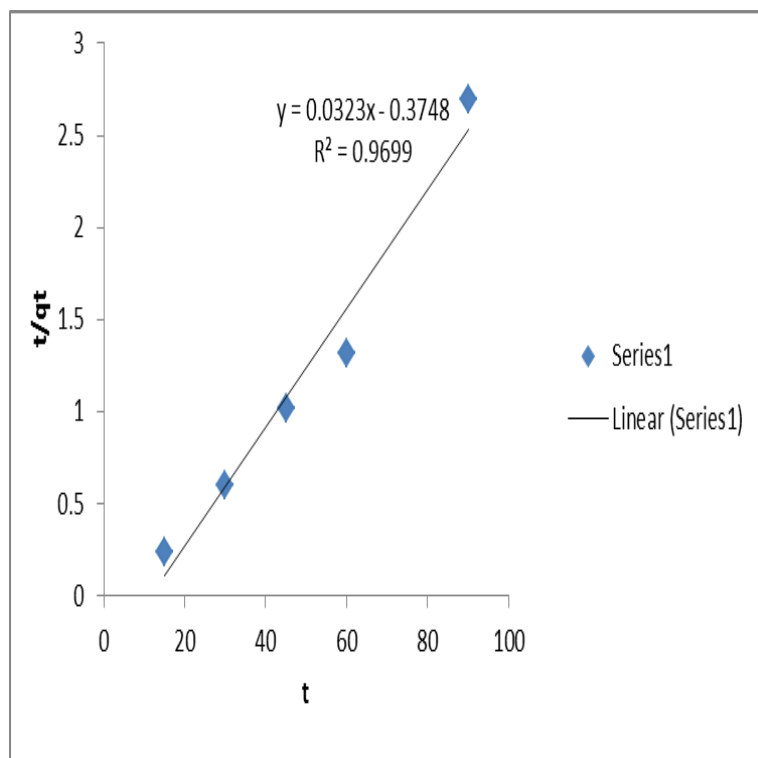
ب

نمودار ۵-ب: سینتیک درجه دوم کادمیم



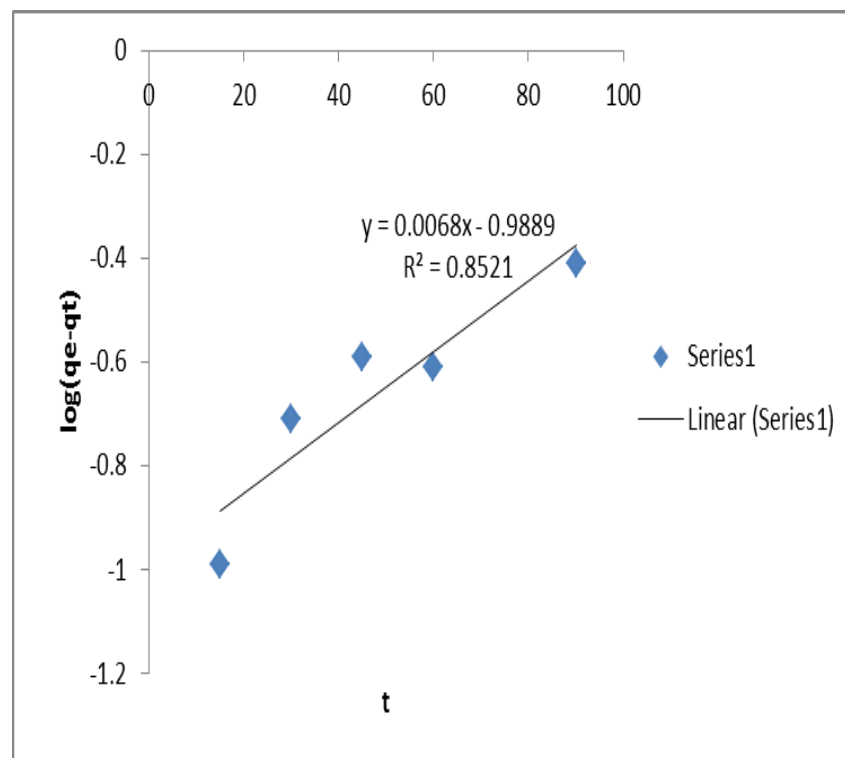
الف

نمودار ۵-الف: سینتیک درجه اول کادمیم



ب

نمودار ۶-ب: سینتیک درجه دوم کبالت



الف

نمودار ۶-الف: سینتیک درجه اول کبالت

سینتیک جذب

با توجه به نمودار سینتیک واکنش جذب براساس دو مدل شبه درجه اول و دوم، میزان ضرایب همبستگی (R^2) برای دو مدل شبه درجه اول و شبه درجه دوم به ترتیب برابر با ۰/۵۹۸۸، ۰/۹۹۳۴ برای یون سرب و ۰/۹۱۰۲، ۰/۹۹۸۳ برای یون کادمیم و ۰/۸۵۲۱، ۰/۹۶۹۹ برای یون کبالت بود. براساس نتایج بیشترین میزان مطابقت با مدل شبه درجه دوم مشاهده شد و این مدل به عنوان بهترین نمونه جهت توصیف رفتار سینتیکی جاذب کیتوزان دانه ای در جذب یون سرب، کادمیم و سرب از محیط های آبی انتخاب شد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که کیتوزان دانه ای با دارا بودن گروههای عاملی آمین و کربوکسیل، به طور مؤثر قادر به حذف یون های فلزی سرب، کادمیم و کبالت هستند. فرایند جذب سطحی توسط جاذب کیتوزان دانه ای وابسته به pH، مقدار جاذب، زمان تماس و غلظت اولیه یون های فلزی است.

جدول ۱۶: شرایط بهینه در حذف سرب، کادمیم و کبالت

فاکتور	pH	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (میلی گرم در لیتر)	غلظت اولیه فلز (میلی گرم در لیتر)	حذف (%)
سرب	۸	۴۹	۳۹۷	۲/۹۶	۸۹
کادمیم	۹/۸	۵/۲۴	۶/۲۹۶	۱/۵۰	۹۹/۱
کبالت	۵/۸	۲۰	۳۸۵	۵۰	۹۹/۹

ارائه پیشنهادات

-حذف سایر فلزات سنگین توسط کیتوزان دانه ای با این روش

-بررسی حضور توام چند فلز سنگین بر کارایی حذف توسط کیتوزان دانه ای

-استفاده از کیتوزان به صورت ترکیب با جاذب طبیعی دیگر در حذف فلزات

سنگین

1. Huang S, Lin G. Biosorption of Hg (II) and Cu (II) by biomass of dried Sargassum fusiforme in aquatic solution. Journal of Environmental Health Science and Engineering. ۲۰۱۵; ۱۳(۱):۱
2. Qanyan M T JB, Amrollahi M , DhvaryM ,Ttaghavy M. The use of bio-absorption process for removing chromium (VI) from the pomegranate seed powder blue. Koomesh. ۲۰۱۳; ۱۵(۲): ۱۱-۲۰۶
۳. Wang J, Chen C. Chitosan-based biosorbents: modification and application for biosorption of heavy metals and radionuclides. Bioresource technology. ۲۰۱۴; ۱۶۰: ۱۲۹-۱۴۱
4. Toiserkani H SF. Chitin and Chitosan: Structure, Properties and Applications. J Aqu Eco. ۲۰۱۳; ۲(۳): ۲۶-۴۰
5. Wan Ngaha w s TLC, Hanafiah M A K M .Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites. A review Carbohydrate Polymers. ۲۰۱۱; ۸۳: ۵۶-۱۴۴
6. Asadpour Y sS, Kalbasi MR, Khosroshahi AA. Extraction of chitin and chitosan production of Artemia cysts shell urmiana. Journal of Marine Science and Technology. ۲۰۰۴; ۲(۱):۱

6. Thirugnanasambandham K, Sivakumar V, Maran JP, Kandasamy S. Chitosan based grey wastewater treatment—A statistical design approach. Carbohydrate polymers. ۲۰۱۴;. ۶۰۰-۹۹:۵۹۳
7. Ngah WW ,Endud C, Mayanar R. Removal of copper (II) ions from aqueous solution onto chitosan and cross-linked chitosan beads. Reactive and Functional Polymers. ۲۰۰۲;۵۰(۲):90- ۱۸۱
۸. Negm NA, El Sheikh R, El-Farargy AF, Hefni HH, Bekhit M. Treatment of industrial wastewater containing copper and cobalt ions using modified chitosan. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. ۲۰۱۵;. ۳۴-۲۱:۵۲۶
9. Khairkar. Sh R. RAR. Adsorption studies for the removal heavy metal by chitosan-g-poly (acrylicacid-co-acrylamide) composite. Science Journal of Analytical Chemistry. ۲۰۱۴;۲(۶):. ۷۰-۶۷
10. Hydari S, Sharififard H, Nabavinia M, reza Parvizi M. A comparative investigation on removal performances of commercial activated carbon, chitosan biosorbent and chitosan/activated carbon composite for cadmium. Chemical engineering journal. ۲۰۱۲;. ۸۲-۱۹۳:۲۷۶
11. Ekhlesi. I Yh, Mehraban. z, Bahramifar. n synthesis and application of chitosan nanoparticles for removal of lead ions from aqueous solutions. Journal of Water and Wastewater. ۲۰۱۳;. ۱

12. Sanaty A BN, Mehraban Z, Younis H. Removal of lead from aqueous solutions using the ashes of palm leaves in the batch capture systems. Journal of Water and Wastewater. ۲۰۱۲;. ۴
13. Swayampakula K, Boddu VM, Nadavala SK, Abburi K. Competitive adsorption of Cu (II), Co (II) and Ni (II) from their binary and tertiary aqueous solutions using chitosan-coated perlite beads as biosorbent. Journal of Hazardous Materials. ۲۰۰۹;۱۷۰(۲):. ۹-۶۸.
14. Myers RH, Montgomery DC, Anderson-Cook C. Response surface methodology: product and process optimization using designed experiments. John Wiley & Sons, New York; .۲۰۰۹
15. Salah TA, Mohammad AM, Hassan MA, El-Anadouli BE. Development of nano-hydroxyapatite/chitosan composite for cadmium ions removal in wastewater treatment. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. ۲۰۱۴;۴۵(۴):. ۷-۱۵۷
16. Sun X, Peng B, Ji Y, Chen J, Li D. Chitosan (chitin)/cellulose composite biosorbents prepared using ionic liquid for heavy metal ions adsorption. AIChE journal. ۲۰۰۹;۵۵(۸):. ۹-۲۰۶۲
17. Boamah PO, Zhang Q, Hua M, Huang Y, Liu Y, Wang W, et al. Lead removal onto cross-linked low molecular weight chitosan pyruvic acid derivatives. Carbohydrate polymers. ۲۰۱۴;. ۲۷-۱۱۰: ۵۱۸



با تشکر از حسن توجه شما